



Maria Vinter

## **Tietomallinnuksen hyödyntäminen siltojen ylläpidossa**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 11.9.2017

Valvoja: Professori Risto Kiviluoma

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Ari Savolainen

---

**Tekijä** Maria Vinter

---

**Työn nimi** Tietomallinnuksen hyödyntäminen siltojen ylläpidossa

---

**Koulutusohjelma** Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

---

**Pääaine** Rakennetekniikka

**Koodi** Rak.thes

---

**Työn valvoja** Prof. Risto Kiviluoma

---

**Työn ohjaaja** DI Ari Savolainen

---

**Päivämäärä** 11.9.2017

**Sivumäärä** 99+9

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Siltojen hallinnassa hyödynnetään yleensä digitaalista tiedon kokonaisuutta, joka muodostaa osan siltojen hallintajärjestelmästä. Suomen tieverkko käsittää valtion omistamia maanteitä, kuntien ylläpitämiä katuja sekä yksityisten omistajien ylläpitämiä yksityistieitä. Liikennevirasto ja alueelliset ELY-keskukset huolehtivat valtion tieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä. Liikennevirastossa siltojen hallinnassa käytetään apuna Taitorakennerekisteriä. Taitorakennerekisterissä on tietoja muun muassa Liikenneviraston omistamista silloista ja muista rakenteista, sekä kuntien omistamia silloista. Taitorakennerekisteri otettiin käyttöön vuoden 2017 alussa ja se korvaa aikaisemmin käytössä olleen Siltarekisterin. Taitorakennerekisterin rakenneosien kuvauksia on laajennettu ja kullekin rakenneosalle voidaan määrittää useita rakenneosakohtaisia ominaisuustietoja. Taitorakennerekisterin tietotarpeet vaativat selvitystä ja tiedoille tulee määrittää tietokenttä rekisterissä. Tällä pyritään siihen, että suurta tietomäärää ja siltajoukkoa pystytään jäsentelemään paremmin ja siltojen hallinta on entistä tehokkaampaa. Kun tieto on oikeassa paikassa ja se on luotettavaa, tietomallin hakujen tekeminen yksinkertaistuu ja tieto on paremmin hyödynnettävissä.

Tässä diplomityössä määritettiin Taitorakennerekisterin tietotarpeita ja kehitettiin tarkkuustasoehdotukset ylläpitomallille. Ylläpitomallilla tarkoitetaan tiedonsiirto- ja säilytystapaa, joka sisältää ylläpidon prosessien kannalta olennaiset tiedot rakenteesta. Tarpeiden määrittämistä varten haastateltiin eri siltojen ylläpidon asiantuntijoita sekä tutkittiin aikaisempia tutkimuksia aiheesta. Tarkkuustasoehdotukset määriteltiin käyttäjien tarpeiden, Liikenneviraston siltojen suunnittelun ja toteutuksen tietosisältöjen, Taitorakennerekisterin tietosisällön sekä aikaisempien tarkkuustasomääritelmien perusteella. Käyttäjien haastatteluiden avulla kuvattiin ylläpitomallin käyttötapauksia, joiden avulla määritettiin ylläpitomallin tietotarpeita. Tarkkuustasoehdotuksissa tarkkuustasot etenevät Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen mukaisesti lähtien päärakenneosista. Tarkkuustasot ovat jaoteltuna eri ominaisuustietoihin, koska eri ominaisuuksilla on myös omat tarkkuustasonsa. Matalimmalla tarkkuustasolla on kuvattuna ne tiedot, jotka ovat tällä hetkellä jo Taitorakennerekisterissä. Tasot tarkentuvat siitä eteenpäin ja tarkimman tason ylläpitomalleja laaditaan uusille rakenteille. Työssä käytiin läpi myös Liikenneviraston siltakantaa ja jaoteltiin siltoja eri kriteereiden perusteilla määritetyille tarkkuustasoille.

---

**Avainsanat** silta, siltojen hallinta, tietomalli, ylläpito

---

<b>Author</b> Maria Vinter		
<b>Title of thesis</b> Utilizing Building Information Modelling for Bridge Maintenance		
<b>Degree programme</b> Structural Engineering and Building Technology		
<b>Major</b> Structural Engineering		<b>Code</b> Rak.thes
<b>Thesis supervisor</b> Prof. Risto Kiviluoma		
<b>Thesis advisor</b> M.Sc. Ari Savolainen		
<b>Date</b> 11.9.2017	<b>Number of pages</b> 99+9	<b>Language</b> Finnish

### Abstract

Bridge management systems usually consist of digital data content. The Finnish road network comprises public roads, municipal street networks and private roads. The Finnish Transport Agency is responsible to maintain and develop the state-owned transport network together with the regional Centres for Economic Development, Transport and the Environment. The Finnish Transport Agency utilizes a data registry for information of bridges and other structures as a part of bridge management system. The registry also includes information of municipal-owned bridges. The registry was renewed in the beginning of 2017 and for example the structure specifications were extended in the new version. Each component can have multiple characteristic information. The objective for the Finnish Transport Agency is to determine the information needs for the registry. To allow this, the data's enumeration must be consistent and information fields specified. The aim is that the information management and bridge management becomes increasingly automated.

The information needs of the maintenance model were studied in this thesis by interviewing bridge specialists and researching previous studies. Maintenance model is a means to transfer and store data and contains the information required for bridge maintenance. Using the user requirements to define maintenance model's operation, the information needs were detailed. According to the needs, the Finnish Transport Agency's bridge design and construction phase's data content, the Bridge management system's structure specifications, and the level of detail of the maintenance model were specified. The levels are based on the hierarchy of Bridge management system's structure specifications. The first level, which has the lowest level of information, describes the first level of the hierarchy of structure specification. These main components have different qualities and they have different levels of detail. The first level of detail describes the information that already exists. The levels of detail increase after the first level and the most detailed maintenance models are made for new structures. The bridges owned by the Finnish Transport Agency were then prioritized to the specified level of details according to the different criteria.

---

**Keywords** bridge, bridge management, information model, maintenance

---

## Alkusanat

*Tämä diplomityö tehtiin osana rakenne- ja rakennustuotantotekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. Diplomityö on tehty Sito Oy:ssä. Työn on tilannut ja rahoittanut Liikennevirasto, jota haluan kiittää työn mahdollistamisesta ja mielenkiintoisesta aiheesta.*

*Haluan kiittää työni valvojaa professori Risto Kiviluomaa. Lisäksi haluan kiittää ohjausryhmääni, johon kuului ohjaajan Ari Savolaisen (Sito Oy) lisäksi Heikki Myllymäki (Liikennevirasto), Markku Äijälä (Liikennevirasto), Milla Lötjönen (Sito Oy) sekä Aleksi Leskinen (Sito Oy). Kiitoksia myös Pekka Mantereelle diplomityön tekemisen mahdollistamisesta Sito Oy:ssä. Diplomityöhöni kuului asiantuntijahaastatteluiden tekeminen ja osoitan kiitokset kaikille haastateltaville.*

*Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni tuesta opintojeni ja tämän työn aikana.*

Espoo 29.8.2017

Maria Vinter

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Lyhenteet	6
1 Johdanto	9
2 Siltojen ylläpito	11
2.1 Siltojen hallintajärjestelmät	11
3 Siltojen ylläpito Liikennevirastossa	13
3.1 Ylläpidon periaatteet ja toteutus	13
3.2 Siltojen hallinta	14
3.3 Siltojen kunto	15
4 Tietomallit sillan suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon aikana	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Tietomallit suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa	20
4.3 Tietomallit ylläpitovaiheessa	22
5 Ylläpitomallin lähtökohdat	33
5.1 Yleistä	33
5.2 Tarkkuustasot	35
5.3 Käyttäjien vaatimukset	38
5.3.1 Ylläpitomallin käyttäjät	38
5.3.2 Tilaaja	39
5.3.3 Sillantarkastaja	43
5.3.4 Korjaussuunnittelija	46
5.3.5 Urakoitsija ja kunnossapitäjä	47
5.3.6 Käyttäjien haastatteluiden yhteenveto	50
5.4 Sillan suunnittelun tietosisältö	51
5.5 Sillan rakentamisen tietosisältö	54
6 Ylläpitomalli	57
6.1 Ylläpitomallin tietosisältöjen tarkkuustasot	57
6.2 Tarkkuustasoehdotukset	60
6.3 Ylläpitomallin siltapaikan tietojen tarkkuustasot	75
6.4 Ylläpitomallin tarkkuustasojen käytön kriteerit	78
6.5 Tulevaisuuden mahdollisuuksia	81
6.6 Tulosten analyysi	82
7 Yhteenveto ja johtopäätökset	84
Lähdeluettelo	87
Liiteluettelo	99
Liitteet	

## Lyhenteet

2D	Kaksiulotteinen
2,5D	Kaksi- ja puoliulotteinen kuvaus rakenteen peittoalueesta ja/tai katon kulmista (Boeters et al. 2015.)
3D	Kolmiulotteinen
4D	Neliulotteinen, rakentamisessa: kolmiulotteiseen tietomalliin on yhdistetty aikataulut
5D	Viisiulotteinen, rakentamisessa: neliulotteiseen tietomalliin on yhdistetty kustannukset
6D	Kuusiulotteinen, rakentamisessa: viisiulotteiseen tietomalliin on yhdistetty elinkaarenhallinta
AIA	American Institute of Architects –järjestö
BaTMan	Ruotsissa käytetty siltojen ja tunnelien hallintajärjestelmä ( <i>Bro och Tunnel Management</i> )
BIM	Rakennuksen tietomalli ( <i>Building Information Model</i> )
BIMForum	Yhdysvaltojen buildingSMART –järjestö
buildingSMART	Kansainvälinen organisaatio, joka kehittää rakennetun ympäristön sovelluksia avoimien standardien avulla, buildingSMART Finland on Suomessa toimiva tietomallintamista edistävä järjestö
CityGML	Kansainvälinen Open Geospatial Consortiumin kehittämä avoin standardi, joka on tehty kolmiulotteisten kaupunkimallien tiedonsiirtoa ja säilytystä varten ( <i>City Geography Markup Language</i> )
COBIM –hanke	buildingSMART Finland –järjestön hanke yleisten tietomallivaatimusten (YTV) kehittämiseksi vuonna 2012 ( <i>Common BIM Requirements</i> )
DOTs	Yhdysvaltojen liikenteen virasto ( <i>Departments of Transportation</i> )
EDM	Elektroninen etäisyyden mittausta ( <i>Electronic Distance Measurement</i> )
EK-kaavio	Liikenneviraston määrittämä erikoiskuljetuskaavio, jota käytetään siltojen kantavuuden määrittämisessä
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
ERIKU	ELY-keskuksen Erikoiskuljetusten reittihakujärjestelmä
FEM	Elementtimenetelmä eli numeerinen ratkaisumenetelmä tekniikan ja matemaattisen fysiikan ongelmia varten ( <i>The Finite Element Method</i> )
GLoD	Geometrisen tarkkuustaso ( <i>Geometrical Level of Detail</i> ) (Löwner et al. 2013.)
GPS	Maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä ( <i>Global Positioning System</i> )
Hanke-Siha	Liikenneviraston hanketason eli siltatason siltojen hallintajärjestelmä (poistunut käytöstä)
HARJA	Liikenneviraston Hoidon alueurakoiden ja ylläpidon urakoiden raportointijärjestelmä
HCT	Kansainvälisesti vakiintunut termi ajoneuvoyhdistelmälle, jonka pituus ja/tai massa ovat tavallista suurempia, mutta joi-

	ta ei luokitella erikoiskuljetuksina ( <i>High Capacity Transport</i> )
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio ( <i>International Electrotechnical Commission</i> )
IFC	Kansainvälinen rakennusalan ISO 16739 oliopohjainen tiedonsiirtostandardi ( <i>Industry Foundation Classes</i> )
Infra FINBIM	RYM Oy:n tietomallintamista edistävä työpaketti
ISO	Kansainvälinen standardointiorganisaatio ( <i>International Organization for Standardization</i> )
IQOA	Ranskassa käytetty siltojen kunnonarviointi menetelmä ( <i>Image de la qualité des Ouvrages d'ART</i> )
Infra FINBIM	Infra-alan tietomallintamisen yhteistyöfoorumi
InfraRYL	Rakennustietosäätiön laatimat infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
KA-jännemenetelmä	Rakenteissa käytetty esijännitysmenetelmä
LADAR	Maanmittausmenetelmä, joka hyödyntää etäisyyden mittauksessa laseria ( <i>Laser Detection and Ranging</i> )
LandXML	LandXML –organisaation kehittämä kansainvälisesti käytetty tiedonsiirtostandardi infra- ja maanmittaustiedoille
LiDAR	Maanmittausmenetelmä, joka hyödyntää etäisyyden mittauksessa laseria ( <i>Light Detection and Ranging</i> )
LoD	American Institute of Architects –järjestön ( <i>AIA</i> ) määrittelemä käsite tietomallin sisällön ja luotettavuuden tarkkuudesta eri tasoilla ( <i>Level of Development</i> ), tietomallin kolmiulotteisen mallin tarkkuustaso ( <i>Level of Detail</i> ) tai sekä tiedon että mallin tarkkuustaso ( <i>Level of Definition</i> )
Maintenance-BIM	Infra FINBIM –työpakettiin liittyvä hanke, jossa kehitettiin tieväylien hoidon ja ylläpidon tietomallipohjaista prosessia
NCHRP	Yhdysvaltojen yhteistyö- ja tutkimusjärjestö paikalliselle liikenteen virastolle (DOTs) ja yksityisille toimijoille ( <i>National Cooperative Highway Research Program</i> )
NoSQL	Tietokanta, joka ei seuraa kiinteästi määrättyä taulukkoskeemaa ( <i>Not only SQL</i> )
OID	Kansainvälisesti käytetty yksilöintitunnus, joka yksilöi kohteen yksiselitteisesti ISO/IEC 8824-1:2002 –standardin mukaisesti
PONTIS	Yhdysvalloissa käytetty siltojen hallintajärjestelmä
RFID	Radiotaajuinen etätunnistus, jota hyödynnetään etälukuun ja -tallentamiseen ( <i>Radio-Frequency Identification</i> )
RYM Oy	Kiinteistö- ja rakennusalan pääomasijoitusyhtiö
SEKV	Liikenneviraston Suurten erikoiskuljetusten tavoitetieverkko
SILKO	Liikenneviraston Siltojen korjausohjeet
SLoD	Ominaisuustietojen tarkkuustaso ( <i>Semantical Level of Detail</i> ) (Löwner et al. 2013.)
SMIS	Iso-Britanniassa käytetty siltojen hallintajärjestelmä ( <i>The Structures Management Information System</i> )
SQL	IBM:n ( <i>International Business Machines Corporation</i> ) kehittämä standardisoitu kyselykieli, jonka avulla voi tehdä erilaisia hakuja tietokantaan ( <i>Structured Query Language</i> )
VPS	Vauriopistesumma, Liikenneviraston rakenteen kunnon kuvaamiseen käytettävä arvo (poistunut käytöstä)

XML	World Wide Web Consortiumin kehittämä tekstimuotoinen merkitäkielten standardi ( <i>Extensive Markup Language</i> )
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset
YIV	Yleiset inframallivaatimukset
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi



# 1 Johdanto

Tietomalli voi sisältää sekä digitaalisen informaation että geometrisen datan, jotka voidaan linkittää toisiinsa (Volk et al. 2014, s. 3; McGuire et al 2016, s. 1, Chen et al. 2016, s. 34). Tässä tutkimuksessa tietomallilla tarkoitetaan digitaalisen tiedon kokonaisuutta, jonka yksi ominaisuus voi olla kolmiulotteinen geometriamalli. Tällaista tietomallia voidaan hyödyntää tiedonhallinnassa ja siltojen hallinnassa. Tietomallipohjaisen tiedonhallinnan yksi tavoite on, että tieto säilyy samassa paikassa suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta lähtien ylläpitoon (Kassem et al. 2014, s. 273; Shalabi & Turkan 2016, s. 4).

Suomen liikenneverkko koostuu tieverkosta, rataverkosta sekä vesiväylistä. Tieverkko käsittää valtion omistamia maanteitä, kuntien ylläpitämiä katuja sekä yksityisten omistajien ylläpitämiä yksityisteitä. Liikennevirasto ja alueelliset ELY-keskukset huolehtivat valtion tieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä. Liikennevirasto on vastuussa Suomen rataverkon ylläpidosta, kehittämisestä ja kunnossapidosta sekä valtaosasta vesiväylien ja kanavien ylläpidosta ja kehittämisestä. (Liikennevirasto 2017b.) Rakennustiedon (2012a, s. 2) infran toimenpidenimikkeistön mukaan ylläpito ja kunnossapito käsitteitä käytetään eri tahoilla hieman eri merkityksillä. Tässä tutkimuksessa ylläpidolla tarkoitetaan Liikenneviraston määritelmän mukaista merkitystä, jossa ylläpito on osa taitorakenteiden kunnossapitoa. Liikenneviraston määrittämyksen mukaan taitorakenteita ovat sellaiset rakenteet, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmat ja joiden rakenteellinen vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen seurauksena voi aiheuttaa vaaraa ihmiselle tai liikennejärjestelmälle ja/tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle. Kunnossapitoon kuuluvat hoito- ja ylläpitotoimenpiteet. (Liikennevirasto 2013d, s. 8 & 43.)

Siltojen hallinta toteutetaan eri tavoin erilaisissa organisaatioissa ympäri maailmaa (Hearn et al. 2005; Hallberg & Racutanu 2007, s. 630; Everett et al. 2008, s. 2; Stratt 2010, s. 8–10). Siltojen hallintajärjestelmät hyödyntävät monissa tapauksissa digitaalista tiedon kokonaisuutta (Safi et al. 2013, s. 1240–1242; Dai et al. 2014, s. 578–580). Liikennevirastossa siltojen hallinnassa käytetään apuna Taitorakennerekisteriä, jonka tietosisältö muodostaa tietomallin (Liikennevirasto 2013d, s. 46). Taitorakennerekisteri on taitorakenteiden perustietovarasto (Liikennevirasto 2017f), jossa on tietoja muun muassa Liikenneviraston omistamista silloista ja muista rakenteista sekä kuntien omistamia silloista. Taitorakennerekisteri sisältää tietoa rakenteeseen liittyvistä tarkastuksista, tehdyistä korjauksista sekä hallinnollisia tietoja kuten väylä- ja liikennetietoja, rakenne- ja mittatietoja sekä tietoa rakenteen varusteista ja laitteista (Liikennevirasto 2013a, s. 7 & 8). Taitorakennerekisterissä ja Liikennevirastossa aikaisemmin käytössä olleessa Silta-rekisterissä on säilytetty tietoa monien vuosien ajan. Uuden Taitorakennerekisterin avulla pyritään siihen, että suurta tietomäärää pystytään jäsentämään paremmin ja siltojen hallinta automatisoituu.

Vuoden 2017 alussa Liikennevirasto otti käyttöön uuden Taitorakennerekisterin. Taitorakennerekisterissä rakenteille muodostettiin rakenneosatasoiset kuvaukset, jossa rakenneosat ovat hierarkiassa ja alemman tason rakenneosat liittyvät ylemmän tason rakenneosiin. Taitorakennerekisterissä esimerkiksi vauriot ovat rakenneosan ominaisuuksia, jolloin tarkastuksessa ei tarvitse merkitä sijaintia vauriolle, vaan sijainti määräytyy rakenneosan mukaan. Kullekin rakenneosalle voidaan määrittää lukuisia rakenneosakoh- taisia ominaisuustietoja, kun tälle tiedolle on määritetty tietokenttä. Yksittäisestä raken-

teesta on saatavilla paljon tietoa ja tuleeikin siis määrittää, mille tiedolle Taitorakennerekisterissä on tarve. Tällä hetkellä olemassa olevien siltojen rakennekuvaukset päivitetään yleispiirustuksien pohjalta. Tavoitteena on, että tiedon taso on tulevaisuudessa yleispiirustusta vastaavia tietoja tarkempaa. (Liikennevirasto 2017g.) Kun tieto on oikeassa paikassa ja se on luotettavaa, Taitorakennerekisterin hakujen tekeminen yksinkertaistuu ja tieto on paremmin hyödynnettävissä.

Liikenneviraston ylläpitomallilla tarkoitetaan tiedonsiirto- ja säilytystapaa, joka sisältää ylläpidon prosessien kannalta olennaiset tiedot rakenteesta. Ylläpitomalli sisältää käytännössä Taitorakennerekisterissä olevan tiedon. Tavoitteena on, että tieto kulkee automatisoidusti ylläpitomallin ja Taitorakennerekisterin välillä. Esimerkiksi sillan rakennekuvaus pystytään muodostamaan rajapinnan avulla Taitorakennerekisteriin automaattisesti, eikä tietoja tarvitse syöttää käsin. Tiedon täytyy olla tällöin arvojoukoiltaan yhtenevää rakenteen investointipäätöksestä lähtien. Taitorakennerekisterin parametreja käytetään myös siltojen mallinnuksessa. (Myllymäki & Äijälä 2017.)

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia tietomallien käyttöä siltojen ylläpidossa ja hallinnassa. Tutkimus toteutetaan kirjallisuus- ja tapaustutkimuksen avulla. Tapaustutkimus tehdään Liikenneviraston Taitorakennerekisterille. Työssä määritellään Taitorakennerekisterin tietotarpeita nimenomaan siltojen ylläpidon kannalta. Tietotarpeiden määrittäminen liittyy Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen ja ominaisuustietojen laajentumiseen vuoden 2017 alussa. Taitorakennerekisteriin pystytään viemään rakenneosakohtaisia ominaisuustietoja enemmän kuin Liikennevirastossa aikaisemmin käytössä olleessa Siltarekisterissä. Näitä tietotarpeita määritellään muun muassa käyttäjien haastatteluiden avulla. Tunnistettujen tietotarpeiden pohjalta muodostetaan tarkkuustasoehdotukset Liikenneviraston siltojen ylläpitomallille. Tarkkuustasoehdotukset määritetään yleisimpien siltatyyppeiden rakenneosille. Tiedon paremmalla jäsentämisellä pyritään siltojen hallinnan automatisointiin. Lisäksi työssä esitetään kriteereitä, miten Liikennevirasto voi luokitella siltoja kullekin tarkkuustasolle. Tutkimus toteutetaan Liikenneviraston tiesilloille ja muita taitorakenteita tutkitaan yleisellä tasolla.

Työ jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa selvitetään kansainvälisiä käytäntöjä ylläpidon periaatteista, toteutuksesta ja hallinnasta. Lisäksi tutkitaan tietomallien tiedon ja kolmiulotteisten mallien hyödyntämistä rakenteen suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta ylläpitovaiheeseen. Toisen osan tapaustutkimuksessa määritetään tietotarpeita Liikenneviraston siltojen ylläpitomallille muun muassa silta-asiantuntijoiden haastattelujen perusteella. Tältä pohjalta määritetään Liikenneviraston tiesiltojen ylläpitomallin tiedon tarkkuustasoehdotukset sekä kriteerit, joiden perusteella määritetään kunkin sillan ylläpitomallille tarvittava tarkkuustaso.

## 2 Siltojen ylläpito

### 2.1 Siltojen hallintajärjestelmät

Siltojen ylläpidolla mahdollistetaan sujuva ja turvallinen liikenne (Everett et al. 2008, s. 1; NCHRP 2009, s. 6; Dai et al. 2014, s. 578). Siltojen hallinta sisältää suuria investointeja ja päätöksentekoa, joiden tarkoituksena on varmistaa optimoitu silttojen ylläpito ja sen budjetti. Siltojen hallintajärjestelmiä käytetään apuna päätöksenteossa, suuren tietomäärän hallinnassa sekä omaisuuden hallinnan optimoinnissa. (Brodsky et al. 2006, s. 2; NCHRP 2007, s. 1; NCHRP 2009, s. 6; Stratt 2010, s. 8 Marzouk & Hisham 2011, s. 457.) Siltojen ylläpidolla pyritään säilyttämään niiden suuri pääoma-arvo koko elinkaaren ajan (Hallberg & Racutanu 2007 s. 627; Everett et al. 2008, s. 2). Yleensä silttojen hallintajärjestelmä sisältää määrävälein tehtäviä tarkastuksia, joiden tulosten perusteella määritetään sillan kunto. Inventointien ja ylläpidon optimoinnin tuloksena määritellään silloille tehtävät toimenpiteet. Siltojen hallinta toteutetaan eri tavoin erilaisissa organisaatioissa ympäri maailmaa. (Hearn et al. 2005; Hallberg & Racutanu 2007, s. 630; Everett et al. 2008, s. 2; NCHRP 2009 s. 6–7 & 11; Stratt 2010, s. 8–10.)

Yhdysvalloissa silttojen hallinnan käytännöt vaihtelevat eri osavaltioiden välillä. Siltojen hallinnasta vastaavat paikalliset liikenteen virastot, jotka raportoivat tuloksistaan liittovaltion hallinnolle. Yhdysvalloissa kehitettiin 1970-luvulla kansalliset silttojen tarkastusstandardit, jotka määrittelevät, miten yleisten teiden silloista kerätään tietoa. Yhteisten standardien kehittämisen myötä kaikilla liikenteen virastoilla on olemassa jonkinlainen silttojen hallintajärjestelmä. Useat virastot käyttävät silttojen hallinnassa tietokoneistettuja järjestelmiä ja automatisoitua järjestelmää, joka on yhdistetty tietokantaan. (NCHRP 2009, s. 6–7 & 11; Dai et al. 2014, s. 578–580.) Yksi käytössä olevista silttojen hallintajärjestelmistä on PONTIS-järjestelmä (Stratt 2012, s. 11; Dai et al. 2014, s. 578). PONTIS-järjestelmässä käytetään sillan toimintakyvyn kuvaamisessa indeksiä, jonka avulla pystytään arvioimaan ja optimoimaan sillan elinkaarikustannuksia (Stratt 2012, s. 11). Suurin osa silloista tarkistetaan kahden vuoden välein ja tarkastuksia on viidenlaisia; ensi-, rutiini-, vaurio-, perusteellinen- ja erikoistarkastus. Tarkastuksia ohjaavat ohjeistukset. (NCHRP 2009, s. 6–7 & 11; Dai et al. 2014, s. 578–580.)

Isossa-Britanniassa yleisten teiden hallinnasta ja rahoituksesta vastaa paikallinen liikenteen virasto. Virasto rahoittaa erillistä maanteiden virastoa, joka hallinnoi silttoja koko niiden elinkaaren ajan. Virasto on kehittänyt silttojen hallintaan tietokannan (SMIS), jonka avulla voidaan saavuttaa parempi tieverkon ylläpito ja toimivuus. SMIS-järjestelmään (*The Structures Management Information System*) pystytään tallentamaan tietoja ja hyödyntämään näitä tietoja ylläpidon suunnittelussa. Siltojen ylläpito toteutetaan yleensä puitesopimusten kaltaisilla sopimuksilla, jossa konsultit hoitavat silttojen tarkastukset ja arvioinnit. Tarkastuksia on kahdenlaisia, joista yleinen tarkastus tehdään kahden vuoden välein ja tarkempi tarkastus kuuden vuoden välein. (Hearn et al. 2005, s. 68–75; Stratt 2010, s. 1–2 & 8–9.)

Ruotsissa yleisten silttojen hallinnasta vastaa paikallinen liikenteen virasto, joka on suurin silttojen hallinnoija Ruotsissa. Siltojen ja tunneleiden hallinnassa käytetään tietokoneistettua hallintajärjestelmää (*BaTMan*), jossa päivitetty tieto on internet-pohjaisella sivustolla. BaTMan (*Bro och Tunnel Management*) on työkalu tiedon keräämiseen, säilyttämiseen, prosessointiin sekä analysointiin. Tarkastuksia ja kunnonarviointia varten on tehty erilaisia ohjeita. Silloille tehdään pää- ja yleistarkastuksia. (Hallberg &

Racutanu 2007; s. 628, Everett et al. 2008, s. 17 & 21; Safi et al. 2013, s. 1240–1242.) Tarkastuksilla määritetään sillan kunto 0–3 luokituksella, jossa 0 tarkoittaa uudenveroista kuntoa ja 3 huonoa kuntoa. Käytetty siltojen ja tunneleiden hallintajärjestelmä ei sisällä vaurioitusmalleja. Ruotsissa kehitetään myös siltojen elinkaaren aikaisten kustannusten määrittämistä. (Safi et al. 2013, s. 1240–1242.)

Ranskassa valtakunnallinen viranomais hoitaa rahoituksen ja yleisen ohjeistuksen julkisten teiden ylläpidolle sekä toteuttaa siltojen hallinnan. Eri valtakunnallisesti rahoitetut osastot huolehtivat siltojen korjauksista ja tutkimuksista. Paikalliset virastot huolehtivat siltojen rutiinitarkastuksista ja ylläpidosta. (Hearn et al. 2005, s. 20.) Ranskassa suoritetaan neljää erilaista tarkastusta silloille: rutiinitarkastus, vuosittainen tarkastus, kunnan arvioinnin tarkastus (*IQOA*) ja yksityiskohtainen tarkastus. Kunnan arvioinnin tarkastuksessa sillan kunto arvioidaan asteikolla 1, 2, 2E, 3 ja 3U, jossa 1 tarkoittaa uudenveroista rakennetta ja 3U tarkoittaa välittömän korjauksen tarvetta. (Everett et al. 2008, s. 21; Orcesi & Cremona 2011, s. 44–45.) IQOA-tarkastus (*Image de la qualité des Ouvrages d'ART*) tehdään kolmen vuoden välein ja yksityiskohtainen tarkastus 3–9 vuoden välein tarkastajan suosituksen mukaan (Hearn et al. 2005, s. 21–22; Everett et al. 2008, s. 21). Tarkastuksia ja ylläpitoa varten on tehty erilaisia ohjeistuksia. Korjaukset priorisoidaan insinöörien arviointien perusteella. (Hearn et al. 2005, s. 21 & 23.)

Kiinassa siltojen hallinta kuuluu liikenteen ministeriölle. Ministeriön alaiset provinsiaaliset ja kunnalliset virastot vastaavat siltojen ylläpidosta. (Dai et al. 2014, s. 578.) Siltojen kunto huononee Kiinassa koko ajan ja ylläpidon kustannukset ovat kasvaneet suuremmiksi kuin olemassa oleva budjetti on (Yang 2014, s. vi). Suurin osa virastoista käyttää valtakunnallista siltojen hallintajärjestelmää. Hallintajärjestelmä koostuu tietokannan hallinnasta, tilastoista ja tutkimuksista, arvioinnista, kulujen arvioinnista, ylläpidonsuunnittelusta sekä maantieteellisestä informaatiojärjestelmästä. Kiinalaisessa siltojen hallintajärjestelmässä on kolme erilaista tarkastusta: rutiini-, määräaikainen- ja erikoistarkastus. Rutiinitarkastukset tehdään kuukausittain silmämääräisesti, määräaikaiset tarkastukset vähinään kolmen vuoden välein ja erikoistarkastuksia tehdään vaurioiden arviointia tai kantavuustarkasteluja varten, esimerkiksi onnettomuuden jälkeen. Sillan kunto arvioidaan asteikolla I–IV, jossa I on uudenveroinen ja IV huonokuntoinen. Tarkastuksille on olemassa erilaisia ohjeistuksia. (Dai et al. 2014, s. 578–580.)

## 3 Siltojen ylläpito Liikennevirastossa

### 3.1 Ylläpidon periaatteet ja toteutus

Liikenneviraston määritelmän mukaan taitorakenteiden ylläpitoon kuuluvat toimet, joilla olemassa olevaa rakennetta tai järjestelmää korjataan ja heikentynyt kunto tai toimivuus palautetaan ennalleen. Ylläpitoon kuuluvat muun muassa tarkastukset, yksittäiset korjaukset, peruskorjaukset ja elinkaaren hallinta. Lait ja asetukset ohjaavat ylläpitoa. Tavoitteena on säilyttää väylien ja niiden rakenteiden käyttökelpoisuus ja rakenteellinen kunto, jotta käyttäjille mahdollistetaan turvallinen ja toimiva liikkuminen. (Liikennevirasto 2015c, s. 17–18.) Rakennuskannan ikääntyessä ylläpidon ja kunnonhallinnan merkitys kasvavat (Liikennevirasto 2013d, s. 42). Siltojen hoidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla varmistetaan liikenneturvallisuus ja jokapäiväinen liikennöitävyys. Samalla huolehditaan rakenteiden, laitteiden ja ympäristön puhtaudesta sekä toteutetaan pienet kunnostus- ja huoltokorjaukset. (Liikennevirasto 2015c, s. 59.)

Liikenneviraston hallinnoimilla taitorakenteille suoritetaan eri laajuisia tarkastuksia. Tarkastusten avulla seurataan taitorakenteiden kuntoilaa ja ohjelmoidaan korjauksia, varmistetaan liikenneturvallisuus, ylläpidetään riittävä palvelutaso sekä hallitaan käyttö- ja ylläpitokustannuksia. Tarkastuksilla pyritään vaurioiden varhaiseen havainnointiin, seurannaisvaikutusten ennaltaehkäisyyn, rakenteiden kunnon ja toimivuuden seurantaan sekä ikääntymisen hidastumiseen. Tarkastuksista kerätyt tiedot tallennetaan siltojen ja taitorakenteiden hallintajärjestelmään. (Liikennevirasto 2015c, s. 59.) Tarkastuksia voivat suorittaa vain hyväksytyt taitorakenteiden tarkastajat. Liikenneviraston tarkastuksia suorittavien henkilöiden tulee suorittaa hyväksytysti taitorakenteiden tarkastuskurssi. (Liikennevirasto 2013d, s. 47.)

Vastaanottotarkastuksessa varmistetaan, että rakennuttajan urakoitsijalta vastaanottama lopputuote on sopimusten ja suunnitelmien mukainen, eli esimerkiksi hankkeessa suunniteltu ja rakennettu silta sekä sen ympäristö. Vuositarkastuksella seurataan rakenteiden hoidon ja kunnon tasoa. Vuositarkastus on vuosittain toteutettava silmämääräinen tarkastus ja se täydentää yleistarkastusta. Yleistarkastus suoritetaan taitorakenteille yleensä viiden vuoden välein ja se on silmämääräinen tarkastus sillan kuntotilalle. Yleistarkastuksella seurataan rakenteen kunnon kehittymistä koko käyttöiän ajan. Laajennettu yleistarkastus on yleistarkastusta laajempi tarkastus. Tarkastus tehdään vaativille taitorakenteille yleistarkastuksen yhteydessä. Erikoistarkastus suoritetaan, kun rakenteen kunnosta, vaurioista tai niiden kantavuusvaikutuksista halutaan saada silmämääräistä tarkastusta tarkempaa tietoa. Erikoistarkastus tehdään hankekohtaisesti. Taitorakenteille suoritetaan myös tehostettua tarkkailua, kun rakenne halutaan käyttää loppuun hallitusti. Tarkkailun jälkeen rakenne uusitaan. (Liikennevirasto 2015c, s. 60–61.)

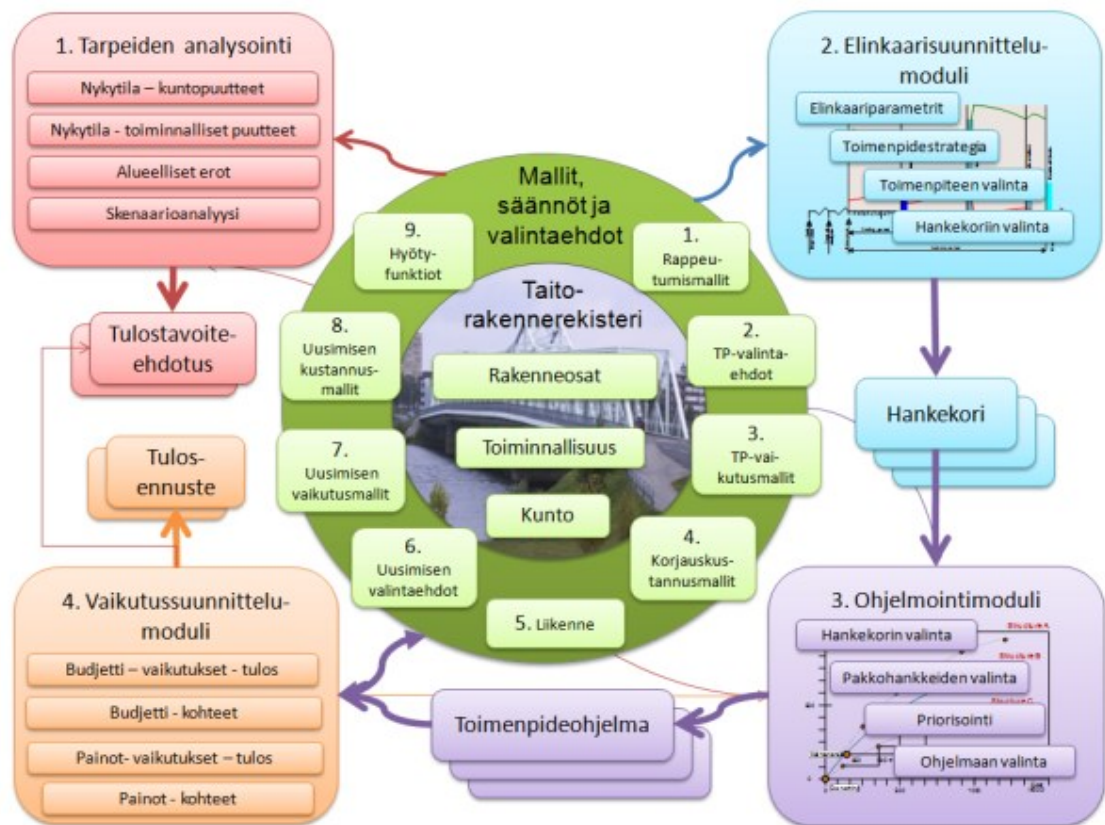
Siltojen hoidossa huolehditaan rakenteiden, laitteiden ja ympäristön puhtaudesta ja toteutetaan kunnostus- ja huoltokorjaukset (Liikennevirasto 2015c, s. 59). Ylläpitokorjaukset ovat pienimuotoisia ja nopeita peruskorjausten välillä tehtäviä korjauksia sekä yksittäisiä vauriokorjauksia. Ylläpitokorjausten laiminlyönnistä voi seurata turvallisuus- ja kantavuusriskejä, vaurioiden pahenemista sekä muita seurannaisvaikutuksia. Rakenne tulee peruskorjata, kun kuntoluokka on erittäin huono. Peruskorjauksessa vaurioituneet rakenteet uusitaan siten, että ne ovat uudenveroisia. Yleistarkastukset ja erikoistarkastukset ohjaavat korjaustöiden ohjelmointia. Kuntoarvioinnissa käytetään kriteerinä yksittäisen vaurion vaurioastetta ja rakenneosan tai koko rakenteen kuntoluokkaa. (Liiken-

nevirasto 2015c, s. 61, 63 & 70.) Yleensä sillat ovat peruskorjausiässä 30–40 vuoden iässä (Liikennevirasto 2016a, s. 3). Tie- ja rataverkon taitorakenteiden suunnittelukäytöikä on 100 vuotta (paitsi puusiltojen 50 vuotta), ellei hankekohtaisesti toisin määrätä. Yksittäisiä rakenneosia korjataan ja uusitaan tarvittaessa useita kertoja rakenteen elinkaaren aikana. Korjaustarve vaihtelee rakenneosan sijainnin, materiaaliominaisuuksien, suojakäsittelyiden sekä käytön ja ympäristörasituksen mukaan. (Liikennevirasto 2015c, s. 49.) Sillalle voidaan määrittää painorajoitus, jos silta ei kantavuuslaskennan perusteella kestä ajoneuvoasetuksen mukaista kuormaa (Liikennevirasto 2015b, s. 11).

Liikenneviraston siltojen ylläpidolle on asetettu laatuvaatimuksia sekä erillisten korjausten vaatimukset on esitetty Siltojen korjausohjeissa (*SILKO*). Ylläpidossa noudatetaan soveltuvien osien myös InfraRYL:n vaatimuksia. Liikenneviraston Siltojen hoidon ja ylläpidon laatuvaatimukset –ohje on toteuttamisvaiheen ohje ylläpitotöihin. (Tiehallinto 2005c, s. 9.) Siltojen hoitoa ohjaa Siltojen hoito –ohje. Kaikkia töitä tehdessä tulee noudattaa myös turvallisuusohjeita. (Liikennevirasto 2014b, s. 7.) Tarkastusten suorituksia ohjaa Taitorakenteiden tarkastusohje, Sillantarkastuskäsikirja sekä laatuvaatimukset (Liikennevirasto 2013d, s. 8). Liikenneviraston taitorakenteiden ja niiden rekisteritietojen inventoinnissa käytetään inventointiohjetta, jossa on esitetty muun muassa eri rakennetyyppien ja rakenneosien nimeäminen sekä määrittelyt ja vauriokirjausten tyypit. (Liikennevirasto 2013d, s. 46.)

### **3.2 Siltojen hallinta**

Liikenneviraston taitorakenteiden hallintajärjestelmän avulla ohjataan taitorakenteiden ylläpitotoimintaa. Järjestelmä auttaa päätöksentekijöitä määrittämään rahoituspuitteet ja toimenpiteet, joilla taitorakenteiden palvelutaso ja kunto saadaan pidetyksi halutulla tasolla. Liikenneviraston taitorakenteiden hallintajärjestelmään kuuluvat sillantarkastusjärjestelmä ja Taitorakennerekisteri. Hallintajärjestelmä perustuu taitorakenteiden tarkastuksiin ja kunnan arviointeihin. Tarkastuksissa kerätyt tiedot viedään Taitorakennerekisteriin. (Liikennevirasto 2013a, s. 7 & 8.) Taitorakennerekisteri on taitorakenteiden perustietovarasto (Liikennevirasto 2017f). Taitorakennerekisteri sisältää tietoa rakentamiseen liittyvistä tarkastuksista, tehdyistä korjauksista sekä hallinnollisia tietoja kuten väylä- ja liikennetietoja, rakenne- ja mittatietoja sekä tietoa rakenteen varusteista ja laitteista. (Liikennevirasto 2013a, s. 7 & 8.) Taitorakennerekisterin tavoitteina ovat rakenteiden dokumentointi, ylläpito, turvallisuus ja omaisuuden arvon säilyttäminen. (Liikennevirasto 2016b, s. 4) Taitorakennerekisteri otettiin käyttöön vuoden 2017 alussa ja se korvaa entisen Siltarekisterin. Taitorakennerekisterin toiminnot laajenevat Siltarekisteriin verrattuna. Aikaisempi hanketason eli siltatason siltojenhallintajärjestelmä (*Hanke-Siha*) on poistunut käytöstä ja osa Hanke-Sihan ominaisuuksista on uudessa Taitorakennerekisterissä. Taitorakennerekisterin toiminallisuuksia voidaan laajentaa tulevaisuudessa vastaamaan myös muita Hanke-Sihan ominaisuuksia. Kuvassa 1 on havainnollistettu Liikenneviraston taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatetta.



Kuva 1. Visio Liikenneviraston taitorakenteiden hallintajärjestelmän rakenteesta, jonka oleellisena osana on Taitorakennerekisteri (Liikennevirasto 2011b, s. 72).

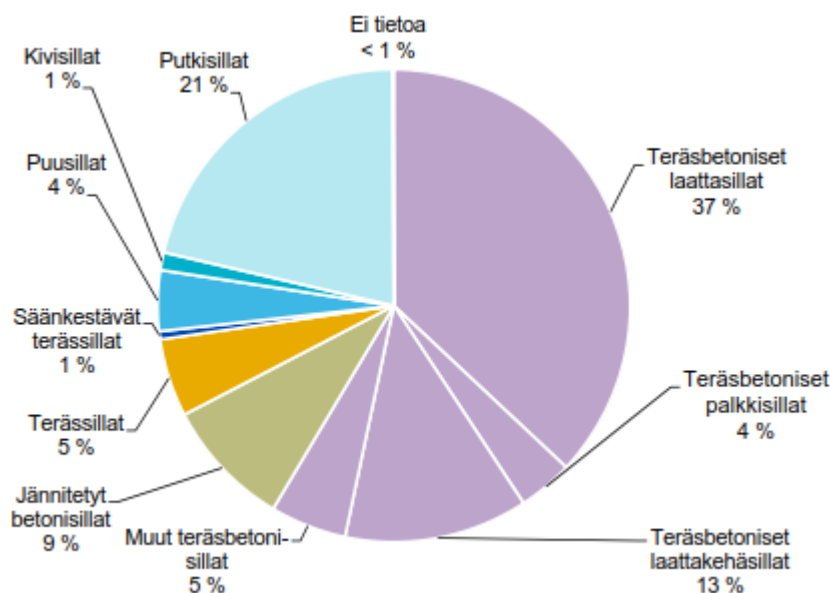
### 3.3 Siltojen kunto

Taitorakenteiden yleiskunto arvioidaan asteikolla 0–4, missä 0 on uudenveroinen ja 4 erittäin huono. Kuntoa seurataan pääosin yleistarkastuksissa. Kuntoarviot kirjataan Taitorakennerekisteriin. (Liikennevirasto 2013d, s. 45.) Liikenneviraston siltojen kunnan seurantaan on tullut uudistuksia uuden Taitorakennerekisterin myötä. Esimerkiksi vauriopistesumman (*VPS*) käyttö on poistunut ja tilalle on tullut uusia arviointimenetelmiä. Uudet kunnanarvioinnin tunnusluvut määräytyvät päärakennneosien kuntoarvioiden perusteella. Kuntoarviointi määritetään päärakennneosalle annettujen vaurioiden perusteella ja tämän perusteella arvioidaan koko päärakenneosan kuntoarvio. Uusilla tunnusluvuilla pyritään siihen, että luku on vertailukelpoinen riippumatta sillan sijainnista, koosta tai väylän luokasta. Luku kerrotaan suuruusluokkakertoimella, joka määritetään sillan kokonaispituuden ja hyödyllisen leveyden mukaan. Korjaustarvetta kuvaava tunnusluku määritetään kaikille rakennneosille ja uusimistarvetta kuvaava luku vain kantaville rakennneosille. Isompi luku korjaus- ja uusimistarvepisteistä kuvaa sillan kuntoa. Kuntoarvioinnin arvot säilyvät ennallaan, kuten taulukossa 1 on esitetty taitorakenteiden kunto-luokitus. Kuntoarvioille voidaan nykyään antaa myös väliarvo esimerkiksi 2,5. Korjaustarvepisteen lukua määritettäessä päärakennneosat kerrotaan painokertoimilla. Tällä pyritään siihen, että esimerkiksi pelkkää päällystettä parantamalla, sillan kunto ei parane, jos esimerkiksi vedeneristys vuotaa. Uusimistarvepisteillä painokertoimet ovat vain alus- ja päällysrakenteelle ja esimerkiksi vain huonokuntoisempi alusrakenne (päätytuet ja väli-tuet) vaikuttaa lukuun. Painokertoimet ovat isompia kuin korjaustarvepisteiden paino-kertoimet. (Liikennevirasto 2017d.)

**Taulukko 1. Taitorakenteiden kuntoluokitus (muokattu lähteestä Liikennevirasto 2013d, s. 45.)**

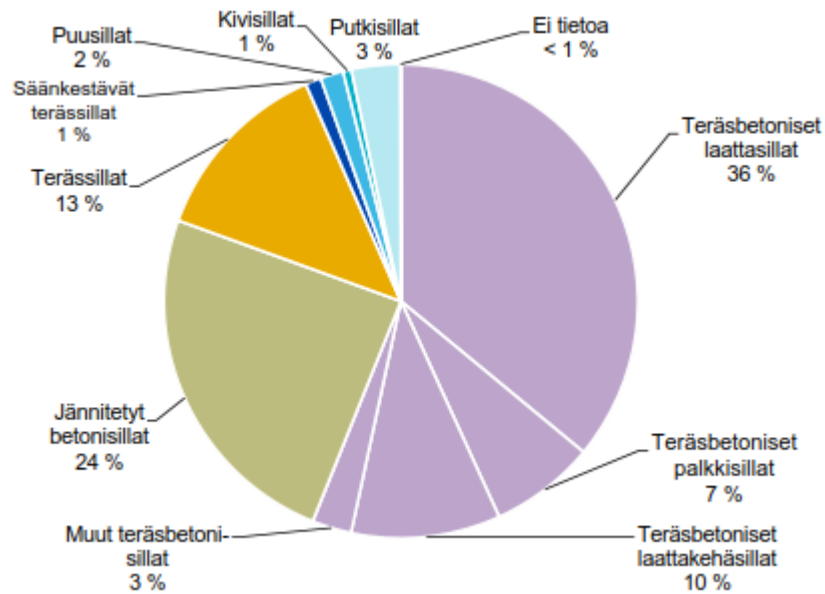
Kuntoluokka		Kuvaus kunnosta
Erittäin hyvä	0	Uusi tai lähes uudenveroinen
Hyvä	1	Hyväkuntoinen rakenne, jossa on normaalia kulumista ja ikääntymistä
Tyydyttävä	2	Rakenteessa puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista, rakenteen korjaamista voidaan vielä siirtää
Huono	3	Useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen vaurio, erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen
Erittäin huono	4	Rakenne on täydellisen peruskorjauksen tai jopa uusimisen tarpeessa, kunto ei ole hyväksyttävissä

Seuraavissa diagrammeissa tarkastellaan Liikenneviraston tilastoihin perustuvaa tiesiltojen kuntoa. Liikenneviraston hallinnassa on yli 15 000 tiesiltaa. Kuvissa 2 ja 3 esitetään siltojen lukumäärien jakauma sekä siltojen pinta-alajakauma siltatyypeittäin. Kuvista huomataan, että yleisin käytetty rakennusmateriaali on teräsbetoni ja yleisin siltatyyppeittäin on teräsbetoninen laattasilta. Lukumäärien ja pinta-alojen jakaumissa on eroja johtuen siltojen koosta verrattuna siltojen lukumäärään. Esimerkiksi jännitetyt betonisillat on lukumäärään nähden vain 9 % koko siltakannasta, mutta jännitetyn betonin avulla pystytään tekemään suurempia siltoja, joten jännitettyjen betonisiltojen pinta-alan osuus 24% koko siltakannasta on huomattavasti suurempi kuin niiden lukumäärän osuus. Liikenneviraston tilastojen mukainen siltojen kuntojakauma on esitetty kuvassa 4. Silloista 70% on hyvässä tai erittäin hyvässä kunnossa. Huonossa tai erittäin huonossa kunnossa olevia siltoja on 5%. Tyydyttävässä kunnossa olevia siltoja on 24%.

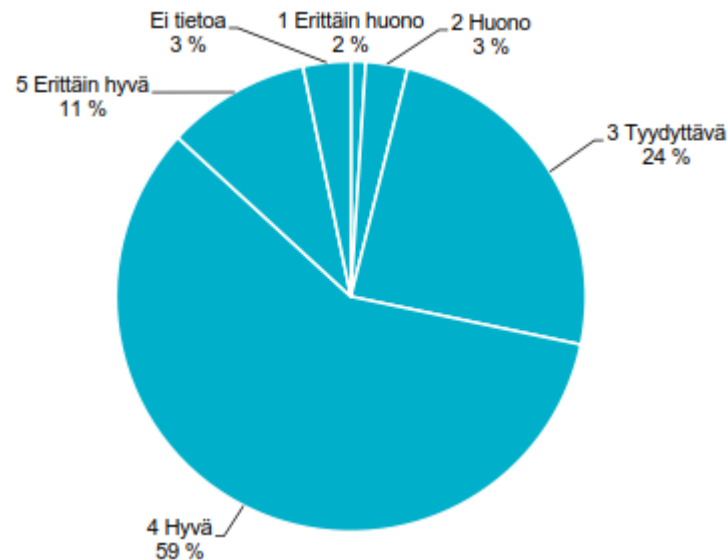


**Kuva 2. Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Liikennevirasto 2016a, s. 29).**



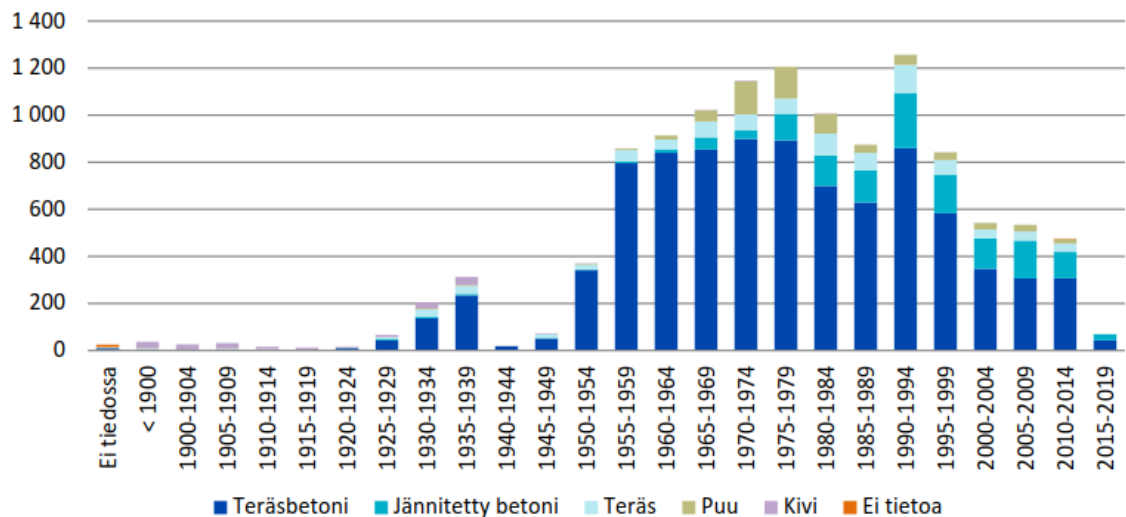


Kuva 3. Siltojen pinta-alajakauma siltatyypeittäin (Liikennevirasto 2016a, s. 29).



Kuva 4. Siltojen kuntojakauma (Liikennevirasto 2016a, s. 69).

Kuvassa 5 on esitetty Liikenneviraston tiesiltojen ikäjakauma päärakennusmateriaaleittain. Diagrammista huomataan, että 30-luvulla rakennettuja siltoja on vielä jonkin verran jäljellä, mutta 50-luvulta lähtien rakennettujen siltojen lukumäärät kasvavat ja tasoittuvat nykyhetkeä lähestyttäessä. Viime vuosina on rakennettu uusia siltoja tai uusittu vanhoja siltoja vähemmän kuin aikaisempina vuosina. Väyläverkon korjausvelka on kasvanut rahoituksen puutteen vuoksi, mutta vuosille 2016–2018 on myönnetty lisärahoitusta korjausvelan vähentämiseksi (Liikennevirasto 2017c).



**Kuva 5. Varsinaisten siltojen ikäjakauma päärakennusmateriaaleittain (kpl) (Liikennevirasto 2016a, s. 40).**

Teräsbetonin betonin vaurioitumista aiheuttaa betonin karbonatisoituminen, kloridien tunkeutuminen betoniin, rakenteiden halkeilu sekä veden, pakkasen ja suolojen aiheuttama rapautuminen. Vauriot voivat aiheutua mekaanisista, kemiallisista tai fysikaalisista syistä. Teräsbetonin raudoituksen korroosion aiheuttajia ovat karbonatisoituminen, kloridit ja sähköiset hajavirrat. Teräsrakenteissa tyypillisiä vaurioita ovat korroosio, väsyminen, pintakäsittelyn vaurioituminen ja liitosten vauriot. Puurakenteissa vauriot johtuvat yleensä kosteudesta. Yleisimpiä vauriotyyppejä ovat lahoaminen, halkeilu, kulumat ja hilseily. (Liikennevirasto 2013d, s. 101–103, 107 & 114.)

## 4 Tietomallit sillan suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon aikana

### 4.1 Yleistä

Tietomalleja hyödynnetään esimerkiksi tiedon välittämisessä eri osapuolten välillä rakennushankkeissa (Akcamente et al. 2010, s. 2; Bryde et al. 2013, s. 971). Tietomallien yhdeksi haasteeksi muodostuu suuren tietomäärän hallinta (Ding & Xu 2014, s. 1; Chen et al. 2016, s. 34). Tietomallinnuksen yksi ominaisuus on kolmiulotteinen mallinnus. Kolmiulotteisella tietomallilla pyritään havainnollistamaan tuotetta paremmin. (Akcamente et al. 2010, s. 2; Bryde et al. 2013, s. 971; Nykänen 2014 s. 96). Kolmiulotteisesta mallista saadaan 4D-malli, kun malliin lisätään aikataulutusta ja edelleen 5D-malli, kun malliin lisätään kustannukset (Marzouk & Hisham 2014, s. 1303; Volk et al. 2014, s. 3; Liu & Issa 2015, s. 2). 6D-mallilla tarkoitetaan mallia, jossa on otettu lisäksi huomioon elinkaaren hallinta (Liu & Issa 2015, s. 2). Tietomallinnuksen käytössä on monia riskejä; teknisiä, hallinnollisia, ympäristö-, kustannus- ja oikeudellisia riskejä (Fanning et al. 2014, Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 5). Kun tietomallia käytetään tiedon jakamiseen, on aina olemassa tietoturvallisuuden riski (Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 5).

Yhteentoimivuuden kannalta tietomallit tulevat olla käytettävissä avoimessa ja standardisoidussa muodossa (Tauscher et al. 2016, s. 1). Avoimeen tiedonsiirtoon kehitetyt standardit voivat mahdollistaa tietomallin käytön eri ohjelmistoilla rakenteen elinkaaren aikana (Penttilä et al. 2006, s. 37). Standardit eivät kuitenkaan vielä suoriudu ongelmitta informaation hallinnassa (Gerrish et al. 2017, s. 5) ja yhteentoimivuudessa (Kivits & Furneaux 2013, s. 12). Tavoitteena on, että tallentuneet tiedot ovat käytössä koko elinkaaren ajan riippumatta sovellusten muuttumisesta ja, että malleja pystytään avaamaan eri ohjelmistoilla. Tällöin usea eri ohjelmastosovellus voi käyttää ja päivittää mallia. (Penttilä et al. 2006, s. 37.) Kansainvälinen buildingSMART organisaatio vastaa tietomallien avoimen tiedonsiirron kehityksestä (Penttilä et al. 2006, s. 37; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2).

IFC-standardi (*Industry Foundation Classes*) on kansainvälinen tiedonsiirtostandardi rakentamisen ja kiinteistönpidon tietojärjestelmille (Penttilä et al. 2006 s. 37; Kang 2017, s. 15). Standardilla pyritään saamaan ohjelmistoista riippumaton muoto tuotemallin tiedoille (Penttilä et al. 2006, s. 37; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2). LandXML-standardi on kansainvälinen tiedonsiirtostandardi (Kang 2017, s. 15) infratietojen tietomallipohjaiseen avoimeen tiedonsiirtoon. Inframodel perustuu LandXML standardiin. Vuonna 2016 on julkaistu viimeisin versio inframallista (Inframodel 4). (buildingSMART Finland 2013 s. 5.) Avoimeen tiedonsiirtoon perustuvia standardeja ei ole suoranaisesti kehitetty infraympäristössä oleville silloille ja muille rakenteille. Rakennussuunnitteluvaiheessa siltojen suunnittelussa käytetään samoja ohjelmistoja kuin rakennusten suunnittelussa. Näin ollen IFC-standardi on käytettävissä siltojen tiedostomuotona. IFC-bridge standardi on kehitteillä, jossa on otettu huomioon siltojen erityispiirteet. LandXML:n käyttö on taas perusteltua siltoihin liittyvien infrarakenteiden perusteella. (Karjalainen 2013, s. 73–75)

Kolmiulotteiseen tietomallinnukseen on olemassa monia eri ohjelmistoja (McGuire et al. 2016, s. 2; Kang 2016, s. 14). Tekla Structures on Trimblen kehittämä tietomallinnusohjelma, joka on IFC-yhteensopiva (Tekla 2017). Autodesk on kehittänyt tietomallinnukseen Revit -ohjelman, joka on myös IFC-yhteensopiva (Autodesk 2017). Bentley

on kehittänyt AECOSim Building Designer – ohjelman tietomallinnusta varten (Bentley 2017). Kolmiulotteisia malleja varten on kehitetty katseluohjelmia, joilla pystytään lähinnä katsomaan malleja ja niiden tietoja sekä tekemään yhdistelmämallia, mutta ei tekemään muutoksia yksittäiseen malliin. Trimblen kehittämän Tekla BIMsightin avulla pystytään yhdistämään eri tekniikanlajien malleja ja jakamaan näin tietoa eri osapuolten välillä (Trimble 2017b). Trimble Connect on myös Trimblen kehittämä sovellus tietojen jakamiseen eri osapuolten välillä. Trimble Connect sisältää laajennuksia eri tekniikkalajeille. (Trimble 2017a.)

Tietomallinnusta on tutkittu eri tahoilla ja erilaisia yhteistyöprojekteja on meneillään (Penttilä et al. 2006, s. 37; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2, buildingSMART Finland 2015a, s. 3). Kolmiulotteisen tietomallinnuksen käyttö kasvaa rakennusallalla nopeasti ja tarve yhtenäisten työtapojen määrittelylle kasvaa (buildingSMART Finland 2015a, s. 3). Rakennusten hankkeissa eri vaiheiden tietomallinnusvaatimukset ovat jo kehitetty pidemmälle. Vuonna 2012 COBIM –kehittämishankkeen (*Common BIM Requirements*) tuloksena on julkaistu Yleiset tietomallivaatimukset (YTV) 2012 –sarja rakennuksille (Rakennustieto 2012b, s. 1). Myös infra-alalla on tarve kehittää yhteiset vaatimukset tietomallinnukselle, jotta rakennushankkeen eri osapuolilla on yhteiset toimintatavat. BuildingSMART Finlandin infratoimialaryhmä julkaisi ohjekokonaisuuden Yleiset infamallivaatimukset (YIV) 2015, joka on yleisen tason johdanto toimintamalleihin infra-hankkeissa, joissa käytetään tietomallinnusta (buildingSMART Finland 2015a, s. 3).

Tiehallinto ja sen seuraaja Liikennevirasto ovat kehittäneet ja tutkineet tietomallinnuksen hyödyntämistä useiden vuosien ajan. Tiehallinto toteutti vuosina 2001–2004 Älykäs silta –projektin, jossa kehitettiin teräsbetonisiltojen kolmiulotteista suunnittelu- ja mittausprosessia (Tiehallinto 2005b, s. 4). Vuonna 2007 tehdyssä Tiehallinnon pilottihankkeessa Siltasuunnitelmien muuttaminen kolmiulotteiseen muotoon, tuotettiin viiden sillan suunnitelmat kolmiulotteiseen muotoon sekä tehtiin konseptikuvaus hankkeesta. (Tiehallinto 2007, s. 5.) Älykäs silta –projektia jatkettiin Tiehallinnossa vuosina 2004–2007 5D-silta –projektilla; Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. Projektissa aloitettiin erilaisia yritysprojekteja, joissa kehitettiin kolmiulotteisen mallintamisen kokonaistoimintaprosessia. Laserkeilauksen käyttö sillan lähtötietojen hankinnassa todettiin hyväksi toteutustavaksi. (Tiehallinto 2008, s. 5.)

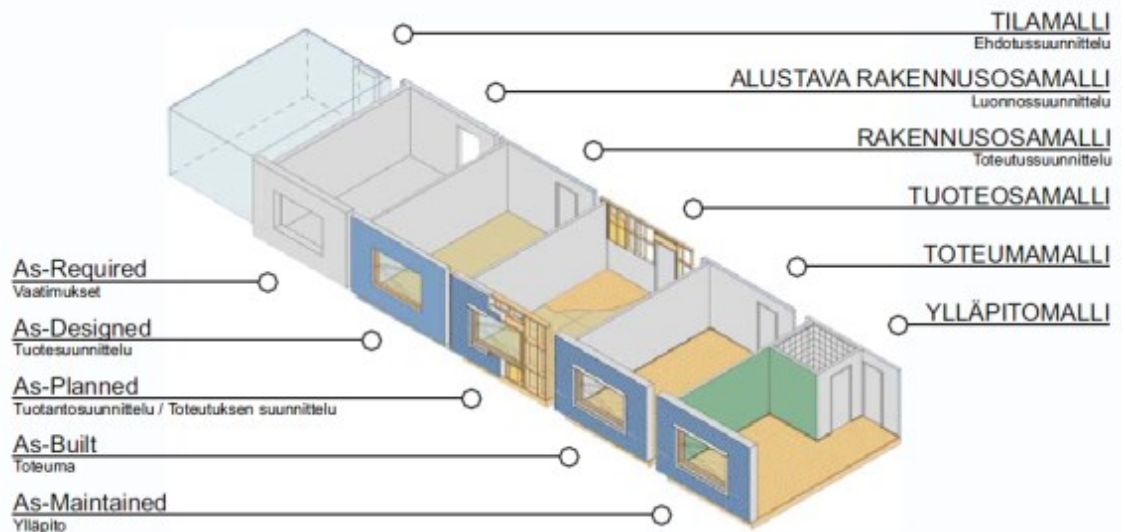
Vuosina 2007–2010 kehittämistä jatkettiin 5D-silta2 –projektilla, jossa selvitettiin siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittämistä. Projektissa kehitettiin muun muassa silta-alalle yhteiset tuotemallintamisohjeet, siltojen kolmiulotteista mittausprosessia sekä esimerkiksi väyläsuunnittelun ja sillansuunnittelun integraatiota. (Liikennevirasto 2011a, s. 3.) Vuosina 2011–2013 kehittäminen jatkui 5D-silta3 –projektilla. Projektissa testattiin ja päivitettiin Liikenneviraston ”Siltojen tietomalliohjetta”, edettiin mallipohjaisiin suunnitelmien tarkastuksiin ja avointen standardien käyttöön. Projektissa tehtiin yhteistyötä RYM Oy:n Built Environment Innovations Infra-FINBIM:n kanssa esimerkiksi sillan ja väylän yhdistelmämallintamisen toteutuksesta. (Liikennevirasto 2015a, s. 3.) Myös Helsingin kaupungin rakennusvirasto on julkaissut Taitorakenteiden tietomallinnusohjeen erityisesti suunnitteluvaiheen mallinnuksen ohjeistamiseen. (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2014, s. 3.)

## **4.2 Tietomallit suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa**

Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa kolmiulotteisilla tietomallitarkasteluilla pyritään vähentämään virheitä (Fanning et al. 2015, s. 1; Latiffi et al. 2015, s. 933), keräämään informaatio samaan paikkaan ja siirtämään se eri osapuolille (Liikennevirasto 2014c, s.

10–11). Kolmiulotteisen tietomallin havainnollisuuden avulla pyritään parempaan ymmärrykseen suunnitelmien sisällöstä sekä eri ratkaisuihin. Visuaalisuus auttaa eri suunnitelmavaihtoehtojen vertailussa. (Akcamente et al. 2010, s. 2; buildingSMART Finland 2015a, s. 11; Fanning et al. 2015, s. 1.) Eri tekniikkalajien suunnitelmamalleja voidaan sovittaa yhteen yhdistelmämallien avulla. Yhteensovituksella pyritään havaitsemaan virheitä ja osoittamaan suunnitelman toimivuus. Tietomallinnuksen käytöllä pyritään lisäämään yhteistyötä ja vuorovaikutusta eri tahojen välillä. (buildingSMART Finland 2015a, s. 6–7; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2–3.) Tällä pyritään tehostamaan prosessia ja vähentämään hukkaa (Azhar 2011, s. 214, Fanning et al. 2015). Tietomallinnuksen käyttöönotto rakennusalaalla on kuitenkin hidasta, koska uusien työtapojen integrointi nykyisiin työtapoihin vie aikaa (Fanning et al. 2014, Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 5) ja mallien käytössä on vielä teknisiä hankaluuksia (Gerrish et al. 2017, s. 3). Mallien yhteen toimivuus ja tietojen jakaminen eri tahojen kanssa sekä tietoturvallisuuden haasteet ja lisäkustannukset hidastavat käyttöönottoa. Tietomallinnuksen käyttöönotto vaatii yritykseltä investointeja. (Ding & Xu 2014, s. 1–2.) Henkilöstöä täytyy kouluttaa, jotta mallien käyttö on sujuvaa (Bryde et al. 2013, s. 979). Tällä hetkellä suunnittelijoiden työ määrä on kasvanut tietomallipohjaisessa suunnittelussa (Kivits & Furneaux 2013, s. 12).

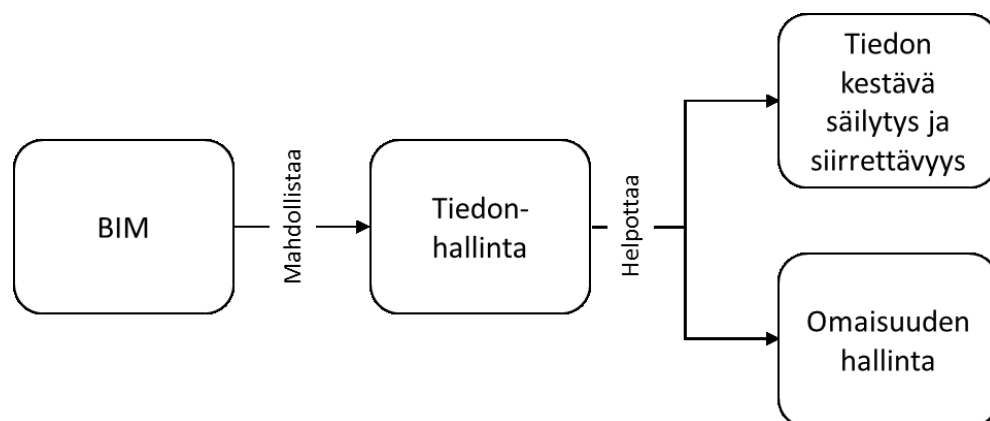
Rakentamisvaiheessa kolmiulotteista tietomallia voidaan hyödyntää monin eri tavoin (Fanning et al. 2015, s. 1; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 3). Visuaalisuuden avulla kohteeseen pystytään tutustumaan jo ennen rakentamista ja erilaisia suunnitelmavaihtoehtoja voidaan vertailla (Fanning et al. 2015, s. 1). Rakennusjärjestystä ja tuotteiden tilaamisen ajoituksia voidaan määrittellä tietomallin avulla (Azhar 2011, s. 243). Tietomallia voidaan käyttää konepajan teräsrakenteiden detaljien suunnittelun lähtötietona. Tietomallia voidaan hyödyntää myös esimerkiksi aikataulutuksessa määrittämällä eri osille aikataulutietoja. Mallista voidaan saada määräluetteloita ja päivitysten aiheuttamat muutokset voidaan päivittää luetteloon. (Liikennevirasto 2014c, s. 32–35; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 3.) Muutosten vaikutukset kustannuksiin voidaan arvioida tietomallin avulla (Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 3). Kolmiulotteiseen tietomalliin voidaan lisätä työnaikaisia rakenteita ja siihen pystytään muokkaamaan toteutuneet ratkaisut toteumamalliksi. Tietomallia voidaan hyödyntää myös laadunvarmistuksessa. (Liikennevirasto 2014c, s. 32–35.) Tutkimusten mukaan tietomallinnuksen avulla pystytään vähentämään projektin kustannuksia ja (Li et al. 2014, s. 1; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 3) hukkaa sekä (Li et al. 2014, s. 1) pysymään aikataulussa paremmin (Fanning et al. 2015, s. 7). Kuvassa 6 on esitetty rakennuksen kolmiulotteisen tietomallin muodostuminen rakennussuunnittelusta ylläpitovaiheeseen. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa muodostuu paljon tietoa, josta on hyötyä myös ylläpitovaiheessa. Oikealla tiedon jäsentämisellä ja formaatilla tietoa pystytään hyödyntämään myös myöhemmissä vaiheissa.



Kuva 6. Yleisesti tunnetut vaiheet rakennusten tietomallintamisessa (Penttilä et al. 2006, s. 28).

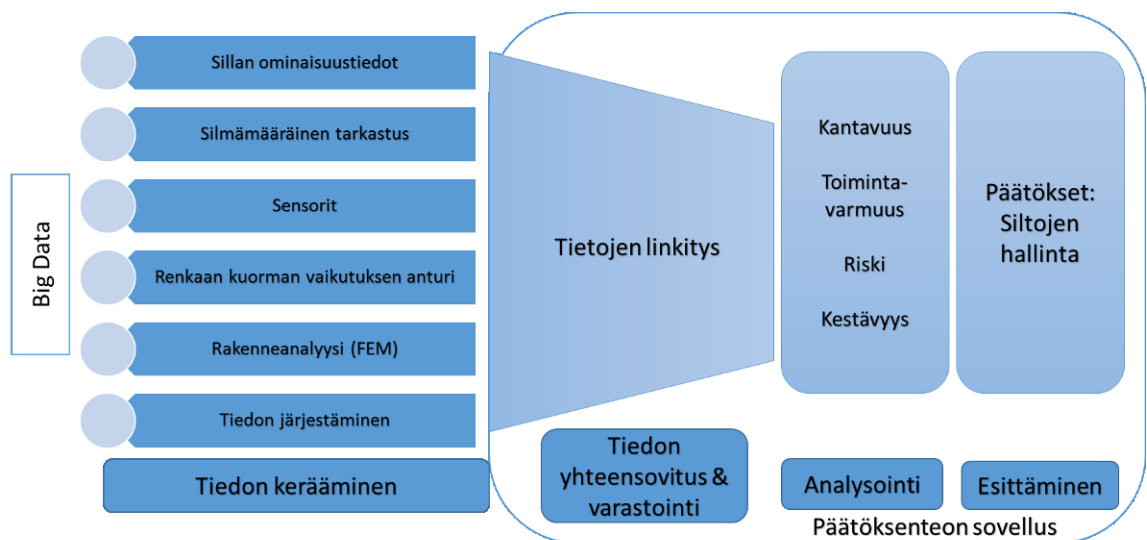
### 4.3 Tietomallit ylläpitovaiheessa

Siltojen hallinnassa hyödynnetään monissa tapauksissa digitaalista tiedon kokonaisuutta (Safi et al. 2013, s. 1240–1242; Dai et al. 2014, s. 578–580). Näiden tietomallien avulla voidaan ohjata ylläpitoa. Tavoiteltu keskeinen hyöty tietomallipohjaisessa ylläpidon hallinnassa on muun muassa tiedon säilyminen yhdessä paikassa suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta lähtien (Akcemete et al. 2010, s. 1–2; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2, Shalabi & Turkan 2016, s. 4). Ylläpitovaiheessa tietomalli voi toimia tiedon säilytyspaikkana, kun avoimen tiedonsiirron ja suuren tietomäärän hallinnan haasteet ovat ratkaistu (Kassem et al. 2014, s. 273; Shalabi & Turkan 2016, s. 4). Tietokanta tarkoittaa asiaan kuuluvaa informaation kokonaisuutta, joka on saatavilla eri käyttäjille ja eri käyttötarkoituksille. Tiedonhallinnalla tarkoitetaan ohjelmistojen kokonaisuutta, joilla käyttäjä voi muokata ja päivittää tietokantaa tehokkaasti. (Pathak 2008, s. 1 & 2.) Tietomallin ja erilaisten rajapintojen yhdistämisellä nähdään mahdollisuuksia suuren tietomäärän hallinnassa. Tietomallin käyttö tiedonhallinnassa riippuu tietokannan kapasiteetista ja tiedon järjestämisen järkevyydestä. (Ding & Xu 2014, s. 2 & 10.) Kuvassa 7 on esitetty tietomallin hyödyntäminen tiedonhallinnassa ja tämän kautta omaisuuden hallinnassa.

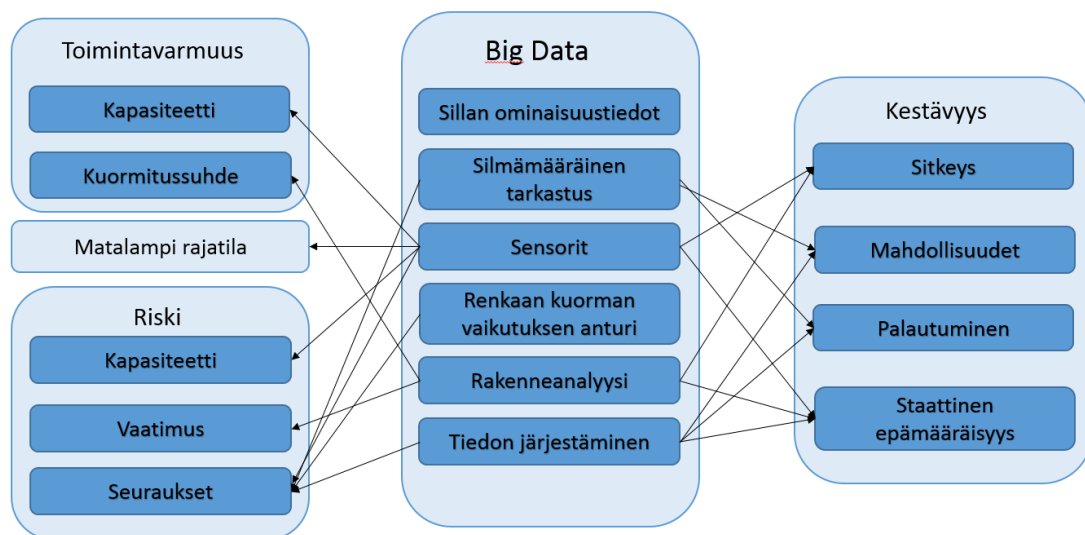


Kuva 7. Tietomallin hyödyntäminen tiedonhallinnassa ja omaisuuden hallinnassa. (muokattu lähteestä Kivits & Furneaux 2013, s. 2).

Tietomallien tiedon määrän lisääntyessä haasteeksi muodostuu suuren tietomäärän hallintaa (Chen et al. 2016, s. 34). Siltojen tapauksessa suuri tietomäärä muodostuu, kun hallittavia siltoja on paljon. Yksittäisten siltojen tapauksessa tietomäärä kasvaa huomattavasti esimerkiksi silloin, kun sillasta hankitaan tietoa laserkeilauksen, mittausten tai monitorointien avulla. Kun tietomalliin viedyn tiedon määrä lisääntyy, samalla tietomallin koko ja monimutkaisuus lisääntyvät ja tällöin mallin käyttö hankaloituu (Kivits & Furneaux 2013, s. 8). Suuren tietomäärän hallinnalla (*Big Data Analytics*) pyritään eri teknologian sovelluksien avulla työskentelemään suurien, järjestelemättömien ja lisääntyvien tietomäärien kanssa. Analysointia varten tarvitaan paranneltuja tietotekniikan sovelluksia. SQL (*Structured Query Language*) on standardisoitu kyselykieli, jonka avulla tietokantaan voi tehdä erilaisia hakuja. Tietoja säilytetään tietokannassa, joista yksi esimerkki on NoSQL (*Not only SQL*). NoSQL –tietokannassa tiedon järjestäminen on joustavaa. (Alampalli et al. 2016, s. 5 & 7; Rajaraman 2016, s. 696–697.) Kuvassa 8 on esitetty suuren tietomäärän hallinnan eri vaiheet siltojen monitoroinnissa. Kerätyn tiedon avulla analysoidaan tuloksia ja tehdään päätöksiä. Kuvassa 9 on esitetty suuren tietomäärän linkittyminen analysointiin. Siltojen hallinnassa voidaan hyödyntää suuren tietomäärän hallintaa siltoihin liittyvien ongelmien tunnistamisessa. Erilaisten mallien avulla voidaan arvioida siltojen kuntoa ja ratkaista ongelmia ennen kuin vauriot etenevät liian suuriksi. (Alampalli et al. 2016, s. 2, 4 & 7.)

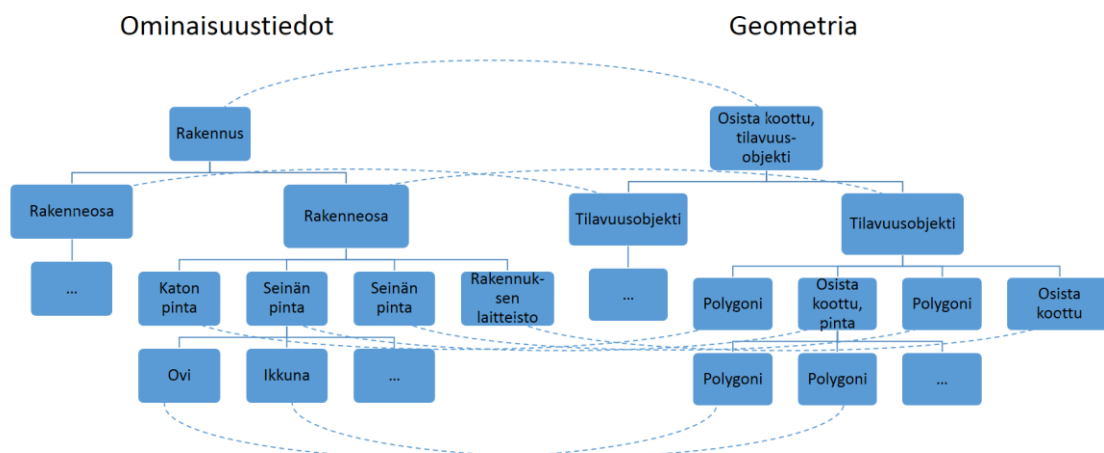


Kuva 8. Suuren tietomäärän hallinnan eri vaiheet (muokattu lähteestä Alampalli et al. 2016, s. 4).



Kuva 9. Suuren tietomäärän linkittyminen analysointiin (muokattu lähteestä Alampalli et al. 2016, s. 6).

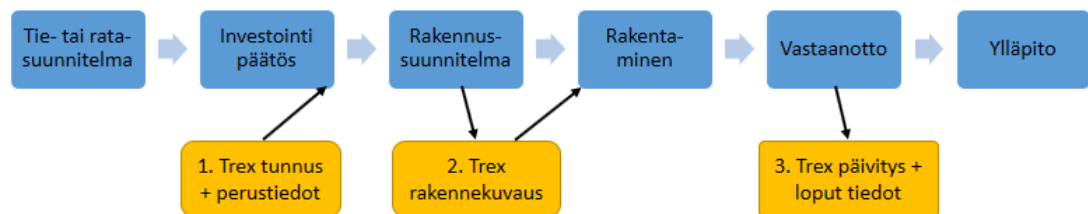
Tietomalli voi sisältää sekä digitaalisen informaation että geometrisen datan (Marzouk & Hisham 2011, s. 458; Borrmann et al. 2012, s. 2; Volk et al. 2014, s. 3; McGuire et al. 2016, s. 1, Chen et al. 2016, s. 34). Tietomalli voi sisältää myös dynaamista dataa kuten toteumatietoja monitoroinneista. Näiden tietojen avulla voidaan tehdä erilaisia analyyskejä ja simulointeja. (Chen et al. 2016, s. 34.) Tietomalliprosessin avulla kerättyjä tietoja voidaan hyödyntää ylläpidossa (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431). Tällöin tietomalli täytyy olla yhdistettynä ylläpidon hallinnan ohjelmiin. On tärkeää määritellä, mitä tietoa ja milloin tämä tiedot tulee hankkia tuotteen elinkaaren aikana. Erityisesti ominaisuustietojen vaatimukset tulee määritellä ylläpitovaiheessa. (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431.) Tietomallin avulla voidaan seurata ja arvioida rakenteen kuntoa sekä valvoa laatua. Tietomalli voi toimia myös historiallisen tiedon ja kulttuuriperinnön dokumentoinnin välineenä. (Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2.) Mallipohjaisessa siltojen ylläpidossa tiedot voidaan linkittää kyseiselle rakenneosalle kolmiulotteisissa mallissa (Kluth et al. 2011, s. 3). Kuvassa 10 on esitettyinä ominaisuustietojen ja geometrian linkittyminen.



Kuva 10. Geometrisillä osilla on sijaintitieto ja ominaisuustiedot ovat linkitettyinä geometrisiin osiin (muokattu lähteestä Kolbe et al. 2009, s. 270).



Liikenneviraston Taitorakennerekisteriä käytetään apuna ylläpito- ja korjaustoiminnan ohjelmoinnissa. Liikenneviraston ylläpitomalli sisältää ylläpidon prosessien kannalta olennaiset tiedot rakenteesta. Ylläpitomallin tietosisältö on käytännössä sama kuin Taitorakennerekisterin tietosisältö. Taitorakennerekisterin tietomallia päivitetään tällä hetkellä siten, että tieto on jäsennelty tarkemmin, mikä mahdollistaa suuren tietomäärän hallinnan. Rakenteille annetaan perustamisen yhteydessä OID-yksilöintitunnus, joka säilyy muuttumattomana koko rakenteen elinkaaren ajan. OID-tunnuksella yksilöidään kohde ISO/IEC 8824-1:2002 –standardin mukaisesti. Taitorakennerekisterin ja muiden järjestelmien integraatiot tapahtuvat näiden OID-avaimien perusteella. Tulevaisuuden tavoitteena on, että Taitorakennerekisterin tietojen päivitys onnistuisi automaattisesti OID-avaimien avulla. (Myllymäki & Äijälä 2017.) Aikaisemmin rakenteet lisättiin Taitorakennerekisteriin rakenteen vastaanoton jälkeen. Tulevaisuudessa rakenteet viedään Taitorakennerekisteriin jo investointipäätöksen jälkeen (kuva 11). Tällöin rakenteelle luodaan tunnus ja perustiedot. Rakennussuunnitelmavaiheessa rakennekuvaus päivittyy ja vastaanoton yhteydessä tiedot päivitetään ja loput tiedot lisätään.



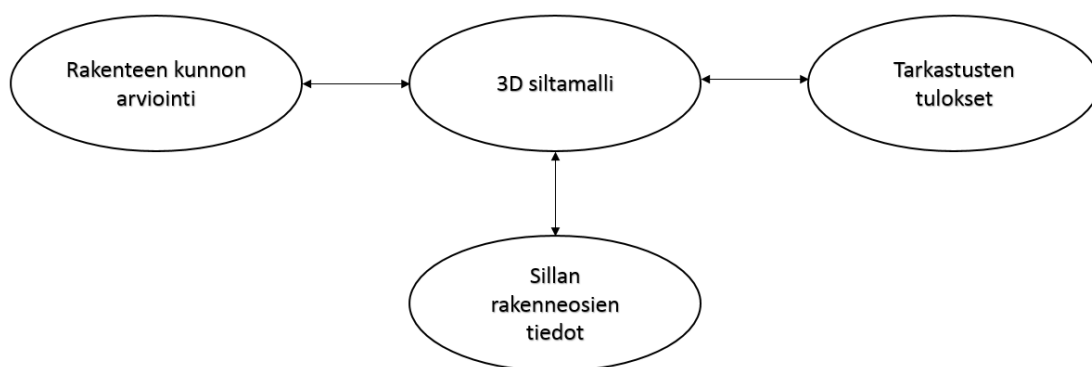
**Kuva 11. Rakenteen muodostumisprosessi Taitorakennerekisteriin (muokattu lähteestä Liikennevirasto 2017e)**

Siltojen tietomalliohje ohjeistaa ylläpitomallin laatimiseen suunnitelma- ja toteumamallien pohjalta. Liikenneviraston vaatimusten mukaan siirtomalli tulee validoida IFC-formaattiin, jotta sitä voidaan hyödyntää Taitorakennerekisterissä. (Liikennevirasto 2014c, s. 36.) Siltojen tietomalliohjeen asettamat vaatimukset koskevat siirtomallia ja sen sisältöä ja rakennetta, mutta ei lähdemallia. Siirtomalli tulee olla vaaditussa formaatissa, tietojen tulee olla vaaditussa paikassa sekä arvojoukkojen on oltava asetettujen sallittujen arvojen listojen mukaisia. Vaatimukset ovat lueteltuina tietomalliohjeessa. (Liikennevirasto 2014c, s. 38–39.) Kuvassa 12 on esitetty tiedon käsittelyn kaavio. Kaavio kuvaa tiedon tuottamisen tietomallin avulla ja tiedon tallennuksen ja ylläpidon Taitorakennerekisterissä sekä tiedon käyttämisen eri tahoilla. Tällaisella tiedonhallinnalla pyritään tuottamaan entistä tarkempaa tietoa muun muassa ylläpidon toimintoja varten ja hallitsemaan paremmin tätä tietomäärää sekä tekemään siltojen hallinnasta entistä automatisoidumpaa.



**Kuva 12. Kaavio tiedon käsittelystä Liikenneviraston Siltojen tietomalliohjeessa (Liikennevirasto 2014c, s. 37).**

Kolmiulotteinen tietomalli toimii visuaalisena apuvälineenä ylläpitotoimenpiteitä suunniteltaessa ja toteuttaessa (Akcamate et al. 2010, s. 1-2; Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2, Shalabi & Turkan 2016, s. 4). Visuaalisuuden avulla päättäjät pystyvät tekemään luotettavampia päätöksiä (Marzouk & Hisham 2011, s. 458). Kolmiulotteisen tietomallin käyttö ylläpitovaiheessa on lisääntymässä (Akcamate et al. 2010, s. 1; Volk et al. 2014, s. 2; McGuire et al. 2016, s. 2), mutta sen hyödyntäminen on vielä vähäistä (Kassem et al. 2014, s. 273; Shalabi & Turkan 2016, s. 4). Kolmiulotteisen tietomallin hyödyt ylläpitovaiheessa eivät ole vielä yleisesti todettuja (Shalabi & Turkan 2016, s. 4). Sillan kolmiulotteinen tietomalli pystytään integroimaan siltojen hallintajärjestelmässä tarkastuksiin, tietokantaan sekä kunnan arviointiin kuvan 13 mukaisesti (Marzouk & Hisham 2011, s. 458).



**Kuva 13. Kolmiulotteinen malli siltojen hallintajärjestelmässä (muokattu lähteestä Marzouk & Hisham 2011, s. 458).**

Monimutkaiset ja isot sillat voivat koostua sadoista tai tuhansista eri rakenneosista ja näin ollen tarkastuksesta muodostuu paljon tietoa (Shaffer et al. 2014a, s. 153). Kolmiulotteista mallia käytettäessä tarkastuksissa tehdyt havainnot kirjataan heti oikeaan kohtaan. Tarkastaja voi käyttää apunaan tarkastuksessa esimerkiksi tablettitietokonetta ja kirjata vauriot sen avulla siltapaikalla. Tällä pyritään vaurioiden tehokkaaseen kirjaamiseen. (Shaffer et al. 2014a, s. 155; Kjellman 2015, s. 9.) Kolmiulotteisen tietomallin avulla pyritään helpottamaan etenkin vaurioiden tyyppin, sijainnin ja laajuuden määrit-

tämistä tarkastuksissa (McGuire 2014, s. 114). Tällä pyritään siihen, että vaurioiden sijoittaminen väärään paikkaan vähenee, kun tieto linkitetään suoraan kolmiulotteiseen tietomalliin (Schaffer et al. 2014, s. 154; Shaffer et al. 2014b, s. 2125; Lukas & Borrmann 2012, s. 3449). Esimerkiksi Yhdysvalloissa vaurioiden sijainnin määrittämistä tarkastuksessa ei vaadita (McGuire et al. 2016, s. 1). Liikenneviraston sillantarkastuksissa määritellään likimääräinen sijainti Sillantarkastuskäsikirjan sääntöjen mukaisesti (Liikennevirasto 2013a, s. 16–17). Kun tarkastus voidaan suorittaa esimerkiksi tabletti-tietokoneella, tarkastuksessa ei tarvitse kirjata tietoja papereihin, mikä auttaa erityisesti sateisessa ja tuulisessa säässä (Kjellman 2015, s. 8). Tablettitietokoneiden sovellukset mahdollistavat myös esimerkiksi kuvien (Lukas & Borrmann 2012, s. 3450; Shaffer et al. 2014a, s. 155; Kjellman 2015, s. 7), äänen (Shaffer et al. 2014a, s. 155), videoiden (Shaffer et al. 2014a, s. 155) tai tutkimusdatan (Lukas & Borrmann 2012, s. 3450) liittämisen malliin paikan päällä, mikä tekee tarkastuksesta informatiivisemman. Sovelluksiin kirjatusta tiedosta pystytään ajamaan erilaisia raportteja (Schaffer et al. 2014, s. 153). Kuvassa 14 on esitetty Liikenneviraston pilotissa ”Kolmiulotteisten mallien hyödyntäminen erikoistarkastuksessa” käytetyn sovelluksen yleiskuva.

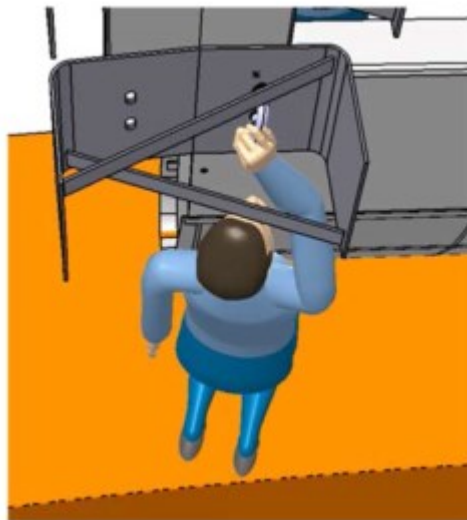


**Kuva 14.** Liikenneviraston pilotissa ”Kolmiulotteisten mallien hyödyntäminen erikoistarkastuksessa” - käytetyn sovelluksen käyttöliittymä (Kjellman 2015, s. 4).

Tietomalliin syötettyjä vauriotietoja voidaan analysoida automaattisesti eri sovellusten avulla (Marzouk & Hisham 2011, s. 464; McGuire 2014, s. 114; McGuire et al. 2016, s. 2). Kun ylläpitoa varten on saatavilla luotettavaa tietoa, voidaan analysoida havaittujen vaurioiden kehittymistä paremmin ajan kuluessa. Mahdolliset korjaukset pystytään suunnittelemaan paremmin, kun tiedetään, miten vaurioituminen on edennyt. (Ackamete et al. 2010, s. 7.) Ohjelmistosovellusten kehittyessä siltojen hallintajärjestelmät kehittyvät yhä enemmän automatisoidummaksi järjestelmäksi esimerkiksi tarkastusten tulosten

arvioinnissa (McGuire 2014, s. 114). Tutkimuksissa on selvitetty kunnon arvioinnin yhdistämistä tietomalliin. Tarkastuksissa tehtyt vauriohavainnot on lisätty malliin, josta ne viedään erilliseen ohjelmaan. Ohjelma lukee tietomallista materiaali- ja geometriatiedot. Tämän jälkeen ohjelmalla voidaan ohjelmoida rakenneanalyysijä rakenteelle tietyillä kuormituksilla. (Marzouk & Hisham 2011, s. 459; McGuire et al. 2016, s. 8–9.) Tutkimuksessa vauriotietojen hyödyntämisestä rakenneanalyysissä ohjelma laski pienemmän murtolujuuden teräkselle kohtaan, johon vauriotieto oli linkitetty (Marzouk & Hisham 2011, s. 464). Myös rakenteissa olevien sensoreiden tuottamia tuloksia pystytään yhdistämään tietomalliin ja tällä tavoin analysoimaan rakenteen tilaa (Fanning et al. 2015, s. 1).

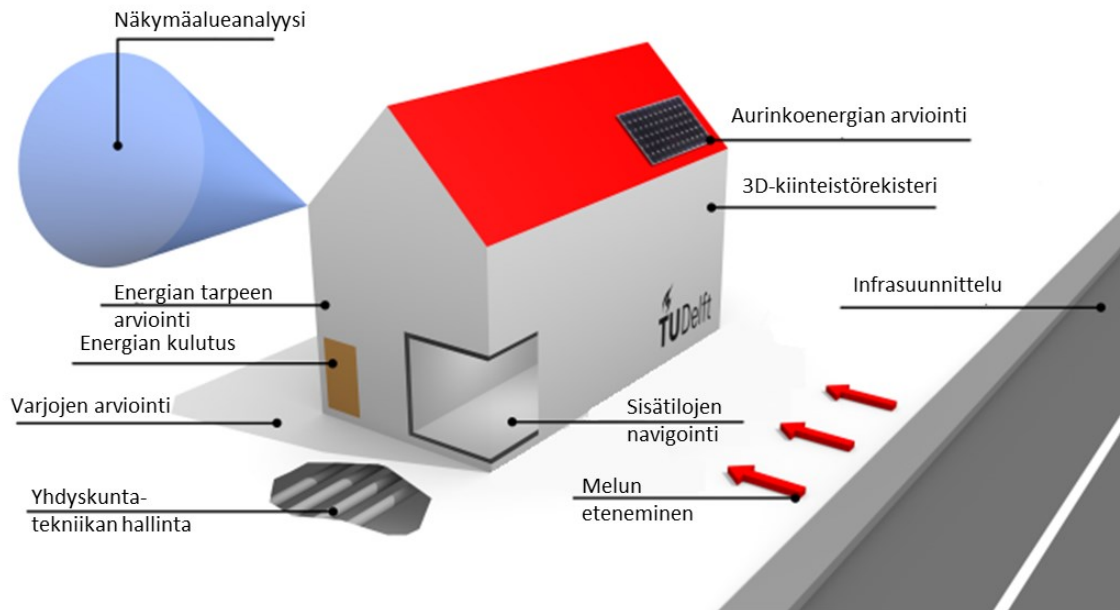
Tietokonesimuloinneilla pystytään luomaan kolmiulotteinen virtuaalitodellisuus, jossa käyttäjä voi tuntea olevansa paikan päällä todellisessa ympäristössä (Dongwei & Lanfang 2010, s. 465; Qin 2013, s. 2851). Virtuaalitodellisuuden ja kolmiulotteisen mallin avulla pyritään parantamaan muun muassa informaation kulkua rakennusprojektin osapuolten välillä (Ye et al. 2006, s. 3) sekä lisäämään tehokkuutta projektin etenemisessä (Qin 2013, s. 2853). Virtuaalitodellisuutta on hyödynnetty piloteissa esimerkiksi sillan monitoroinnissa (Dongwei & Lanfang 2010, s. 467) sekä muissa ylläpidon tehtävissä. Virtuaalitodellisuuden avulla pystyttiin tekemään esimerkiksi työn suunnittelua ja aikataulutusta (Kuang et al. 2016, s. 6). Kuvassa 15 on havainnollistettu ylläpitotyön suorittamiseen vaadittavaa tilaa virtuaalitodellisuuden avulla. Jos tietomalli sisältää kolmiulotteisen mallin rakenteesta, virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen voi olla yksi mahdollisuus ylläpitotehtävien suunnittelussa tulevaisuudessa.



**Kuva 15. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen ylläpitotoimenpiteen suunnittelussa (Kuang et al. 2016, s. 4).**

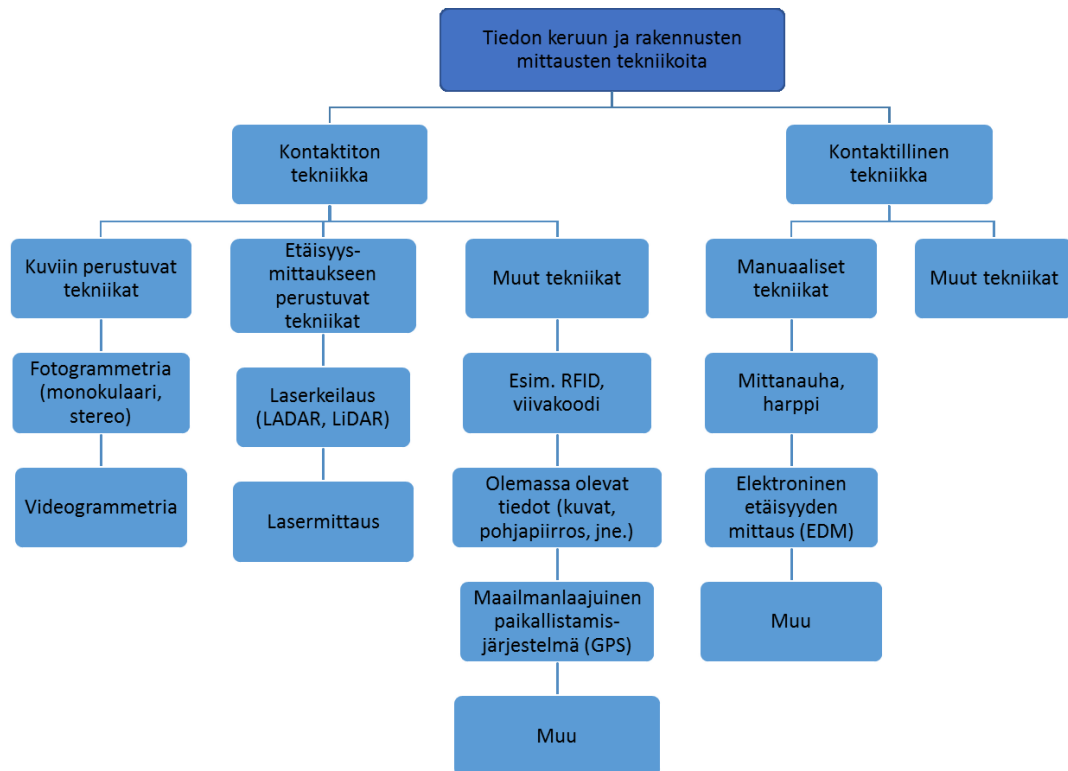
CityGML (*City Geography Markup Language*) on XML-pohjainen (*Extensive Markup Language*) kansainvälinen Open Geospatial Consortiumin kehittämä avoin tiedonsiirtomuoto, jota käytetään kolmiulotteisissa kaupunkimalleissa (Open Geospatial Consortium Inc. 2006, s. 10). Kolmiulotteinen kaupunkimalli on tietokoneella tehty kuvaus kaupunkialueesta, joka käsittää rakennukset, tunnelit, sillat ja muut rakenteet (Boeters et al. 2015, s. 2248). Kolmiulotteinen kaupunkimalli on luotu useiden tekniikoiden, kuten arkkitehtipiirustusten ja fotogrammetristen menetelmien avulla (Biljecki et al. 2015, s. 2843). Kaupunkimalleja pystytään hyödyntämään muun muassa energia-analyysissä,

näkymäalueanalyysissa, varjojen muodostumisen arvioinnissa tai aurinkoenergian kannattavuuden arvioinnissa (kuva 16). Kolmiulotteiselle mallille voi syntyä uusia hyödyntämisen mahdollisuuksia myös siltojen osalta.



**Kuva 16. Kolmiulotteisten kaupunkimallien mahdollisuuksia (muokattu lähteestä Biljecki et al. 2015, s. 2843).**

Myös olemassa olevista rakenteista pystytään tekemään tietomalli (Ghaffarianhoseini et al. 2016, s. 2). Lähtötietojen hankinta (Vainio 2013, s. 40; Volk et al. 2014, s. 24; Suojanen 2014, s. 4; Nykänen 2014, s. 95) sekä epämääräisen tiedonhallinta (Volk et al. 2014, s. 24) havaittiin suurimmiksi haasteiksi mallien tuottamisessa. Olemassa olevien rakenteiden tietomallinnuksen kannattavuus, mallinnustarkkuus ja tietosisältö tulee arvioida kohdekohtaisesti (Vainio 2013, s. 40; Nykänen 2014, s. 95–96; Liikennevirasto 2015b, s. 59; Lipponen 2015, s. 88). Kuvassa 17 on esitetty eri tapoja, joilla voidaan kerätä lähtötietoja olemassa olevista rakenteista ja luoda tietomalli näiden tietojen avulla.



**Kuva 17.** Erilaisia tapoja kerätä tietoa olemassa olevista rakennuksista (muokattu lähteestä Volk et al. 2014, s. 16).

Vuonna 2007 tehdyssä Tiehallinnon pilottihankkeessa: Siltasuunnitelmien muuttaminen kolmiulotteiseen muotoon tuotettiin viiden sillan suunnitelmat kolmiulotteiseen muotoon. Näiden siltojen toteumamallit tuotettiin laserkeilauksesta saatavien pistepilvien avulla. Pistepilvet voitiin rekonstruoida kolmiulotteisiksi pinnoiksi erillisen ohjelmiston avulla. Toteumamallia voitiin verrata lähtötietoihin, jolloin sillassa tapahtuneet muutokset pystyttiin havaitsemaan. Hankkeen tarkoituksena oli muuttaa skannatut kaksiulotteiset siltasuunnitelmat kolmiulotteiseen muotoon. Hankkeessa selvitettiin myös muutostyön vaatimuksia ja projektinhallintaa. Tavoitteena oli saada suunnitelmat muutettua vuoteen 2015 mennessä. (Tiehallinto 2007, s. 5 & 18–20.) Työtä ei kuitenkaan saatu päätökseen.

Vuonna 2014 Liikennevirasto toteutti pilottihankkeen, jossa Raippaluodon sillasta tehtiin kolmiulotteinen malli piirustusten ja muiden tietojen avulla Siltojen tietomalliohjeen vaatimusten mukaisesti (Liikennevirasto 2014a, s. 1–2). Liikennevirasto toteutti toisen pilotoinnin kolmiulotteisten ylläpitomallien laatimisesta rautatiesiltojen erikoistarkastuksia varten vuonna 2015. Mallit laadittiin Liikenneviraston Siltojen tietomalliohjeen mukaisesti. Kohteista luotiin kolmiulotteiset mallit laserkeilauksen ja sillan piirustusten avulla. Laserkeilauksella tuotettiin näkyvien osien rakenteet ja näkymättömät rakenteet lisättiin vanhojen suunnitelmien perusteella. Joitakin rakenteita ei saatu aivan mittatarkoiksi puuttuvien tietojen takia. Malleista tuotettiin IFC-tiedostot. (Liikennevirasto 2015d, s. 1–2.) Vuonna 2014 toteutetussa Liikenneviraston pilottihankkeessa kaksi mallipohjaisesti suunniteltua siltaa muutettiin ylläpitomalliksi Siltojen tietomalliohjeen vaatimuksia vastaavaksi (Liikennevirasto 2014a, s. 1–2). Mallipohjaisesti suunniteltujen siltojen muuttamiseksi ylläpitomalliksi rakennussuunnitelmaan lisättiin tarvittavat tiedot ja mallista muodostettiin IFC-tiedosto Liikenneviraston Siltojen tietomalliohjeen mukaisesti (Hämäläinen 2014, s. 4). Vuonna 2016 Liikennevirasto toteutti pilotoinnin kol-

miulotteisten ylläpitomallien hyödyntämisestä erikoistarkastuksissa, joissa tarkastushavainnot ja tutkimustulokset kirjattiin kolmiulotteiseen ylläpitomalliin. Tarkastuksessa käytettävät ohjelmistot vaativat vielä kehitystä, jotta ne soveltuvat paremmin Liikenneviraston siltojen tarkastusten tekemiseen. (Kjellman 2016, s. 1 & 9, Nykänen & Uotila 2016, s. 3–9) Pilotointien ja muiden tutkimusten mukaan mallinnusnimikkeistöt ja -vaatimukset ovat vielä puutteellisia (Suojanen 2014, s. 3; Liikennevirasto 2014, s. 7–8; Liikennevirasto 2015b, s. 58; Lipponen 2015, s. 87–88).

Tietomallinnuksen hyödyntämistä siltojen korjaussuunnittelussa on tutkittu muun muassa diplomitöissä. Korjausvaiheessa tuotettua mallia voidaan hyödyntää myös ylläpitomallina. Tulosten mukaan kolmiulotteisesta mallista on hyötyä korjaussuunnittelussa erityisesti silloin, kun korjauksen työ- ja asennusjärjestys on tarkka (Lipponen 2015, s. 88). Kolmiulotteisella korjaussuunnittelulla pystytään havainnollistamaan kohdetta paremmin. Diplomitöiden esimerkkikohteiden mallit tuotettiin laserkeilauksesta saatavien pistepilvien avulla. Tällä hetkellä ei ole olemassa tarkkaa ohjeistusta siihen, millä tarkkuudella mallit tulee laatia korjaussuunnittelussa. (Nykänen 2014, s. 95–97; Lipponen 2015, s. 88.) Tulevaisuudessa siltojen hallintajärjestelmä helpottaa lähtötietojen hankintaa, kun tarvittavat lähtötiedot ovat jo valmiiksi tietomallimuodossa tai rakenne on toteutettu tietomallipohjaisesti (Nykänen 2014, s. 96).

Mallipohjaisen lähtötiedon lisääntyessä infran ylläpitourakoiden hankintoja pystytään toteuttamaan enemmän mallipohjaisesti (buildingSMART Finland 2015a, s. 16–17). Tietomallin hyödyntämistä ylläpidossa on testattu infra-alalla Suomessa muun muassa Maintenance-BIM –pilottiprojektissa ja Liikenneviraston piloteissa (InfraFINBIM 2014, s. 4; Liikennevirasto 2015b, s. 8). Esimerkiksi ylläpitourakoiden yhteydessä tehtävät väylien perusparannukset soveltuvat mallipohjaiseen ylläpidon hallintaan (buildingSMART Finland 2015a, s. 16–17). Tietomallipohjaisella dokumentoinnilla pyritään vähentämään manuaalista tiedonkeruuta myöhemmin, jotta tieto on paremmin saatavilla esimerkiksi tulevia korjauksia varten (Liikennevirasto 2015b, s. 57). Kuvassa 18 on esitetty periaate, jolla tietomallia hyödynnetään käyttö- ja ylläpitovaiheessa.

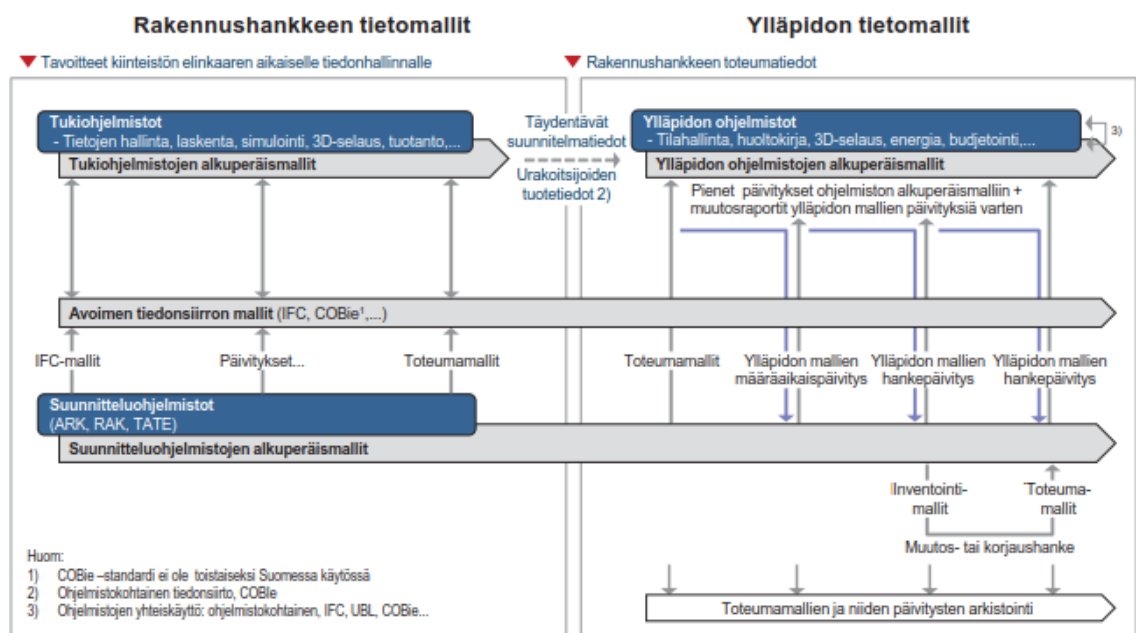


Kuva 18. Tietomallin hyödyntäminen käyttö- ja ylläpitovaiheessa (buildingSMART Finland 2015a, s. 17).



Tietomallit yleistyvät myös rakennusten ylläpidossa. Tietomallin avulla pyritään hallitsemaan rakennuksen käyttöä ja ylläpitoa (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431; Lindkvist 2014 s. 318–319; Liu & Issa 2015, s. 1) sekä tekemään muun muassa laaduntarkastusta (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431), energiahallintaa (Rakennustieto 2012c, s. 2; Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431; Lindkvist 2014 s. 319; Nical & Wodynski 2016, s. 302) ja tilahallintaa (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431; Lindkvist 2014 s. 319; Nical & Wodynski 2016, s. 301). Tällöin tietomalli täytyy olla integroituna tietokoneistettuihin ylläpidon sovelluksiin (Becerik-Gerber et al. 2012, s. 431). Tietomallien käytöllä ylläpidossa pyritään tehostamaan toimintaa, kun tieto on saatavilla ja jaettuna kaikille eri ylläpidon osapuolille (Lindkvist 2014 s. 320; Liu & Issa 2015, s. 7; Nical & Wodynski 2016, s. 300). Siltojen ylläpidossa voidaan hyödyntää joitakin talopuolella kehitetyistä toimintatavoista.

Tietomallinnuksen käytöstä Suomessa rakennusten käytön ja ylläpidon aikana on julkaistu yleiset tietomallivaatimukset, mutta menettelyt ja käsitteet ovat vielä vakiintumattomat. Ohje esittelee tietomallinnuksen mahdollisuuksia ja vaihtoehtoisia toimintatapoja. Tietomalli on tuki kiinteistönpidon toiminnoille. Kiinteistönpidolle on jo olemassa tietomallipohjaisia kiinteistönpidon sovelluksia esimerkiksi huoltokirjaohjelmistoja. (Rakennustieto 2012c, s. 1–2.) Kiinteistönpidossa huoltokirjaan kootaan hoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot, tavoitteet, tehtävät ja ohjeet (Rakennustieto 2005, s. 1). Kuvassa 19 on esitetty tietomallien hallintaprosessia kiinteistön suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta ylläpitovaiheeseen.



Kuva 19. Tietomallien hallinta kiinteistön suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta ylläpitovaiheeseen (Rakennustieto 2012d).



## 5 Ylläpitomallin lähtökohdat

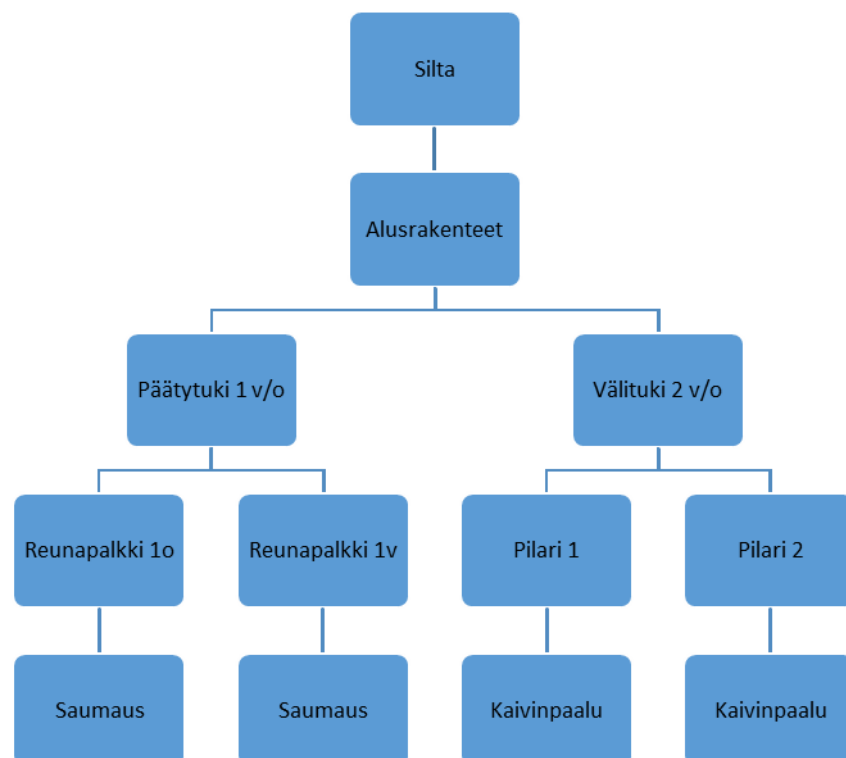
### 5.1 Yleistä

Liikenneviraston ylläpitomallilla pyritään siihen, että tieto on helposti hyödynnettävissä ja saatavissa myös tulevaisuudessa ja, että siltojen hallinta on mahdollisimman tehokasta. Taitorakennerekisteri sisältää jo paljon tietoa, kuvia ja piirustuksia. Kaikki ylläpidossa käytettävä tieto ei kuitenkaan ole vielä automaattisesti saatavilla, vaan tietoa pitää etsiä esimerkiksi yksittäisten piirustusten avulla. Jotta ylläpitomalli on toimiva, tulee määritellä erityisesti se, mitä, miten ja minne tietoa tallennetaan. Tiedon täytyy olla jäsenNELTY oikein, arvojoukoiltaan yhtenevää ja määritetyssä formaatissa, jotta suuren tietomäärän hallinta onnistuu. Kun tieto on oikeassa paikassa ja se on luotettavaa, tietomallin hakujen tekeminen yksinkertaistuu ja tieto on paremmin hyödynnettävissä. Ylläpitomalli pitää pystyä tuottamaan mahdollisimman tehokkaasti ja yksinkertaisesti olemassa olevan aineiston pohjalta. Ylläpitomallin tietosisältöä määriteltäessä tulee ottaa huomioon käyttäjien tietotarpeet.

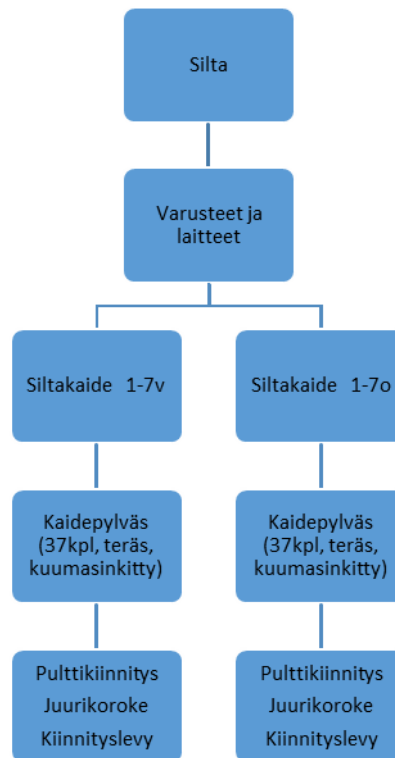
Ylläpidossa käytettävän tietomallin tiedot tulee olla yhdistettävissä yhtenäiseen tilahierarkiaan (Mäläskä 2011, s. 52). Tällaisen jaon avulla on helpompaa arvioida eri osien vaurioituminen eri alueilla sekä koko rakenteen kunto. Esimerkiksi sillan hierarkia voidaan jakaa moduuleihin ja sen jälkeen komponentteihin (Kluth et al. 2008, s. 3–4). Tämän jälkeen komponentit ovat jaettu pienemmiksi osiksi (Kluth et al. 2008, s. 3–4). Jaottelu mahdollistaa sen, että esimerkiksi tarkastustulokset on mahdollista kirjoittaa oikeaan paikkaan (Kluth et al. 2008, s. 4; Borrmann et al. 2012, s. 21). Osien tarkastelu on helpompaa varsinkin silloin, kun osia on paljon (Shaffer et al. 2014a, s. 155). Liikenneviraston Taitorakennerekisteriin on laajennettu Siltarekisterin rakennekuvausta. Rakenteille muodostetaan rakenneosatasoiset kuvaukset. Rakennekuvauksella on hierarkia ja alemman tason rakenneosat liittyvät ylempään hierarkiaan. Kuvissa 20, 21 ja 22 on esitetty Liikenneviraston Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen hierarkiatasot ja esimerkkejä niistä. Päärakenneosat ovat kuntoarvioitavia rakenneosia. Siltarekisterissä rakenneosa oli vaurion ominaisuus. Taitorakennerekisterissä vauriot ovat rakenneosien ominaisuuksia, jolloin tarkastuksessa ei tarvitse merkitä sijaintia vauriolle, vaan sijainti määrittyy rakenneosan mukaan. Eli jokaiselle rakenneosalle voidaan määrittää rakenneosakohtaisia ominaisuustietoja. Jos ylemmän tason rakenneosalla on ominaistietona esimerkiksi vinous tai sijainti, saavat alemman hierarkian tason rakenneosat myös tämän ominaisuuden. Taitorakennerekisterin parametreja käytetään myös mallinnuksessa. Suuren tietomäärän hallinnassa tieto täytyy jäsenNELLÄ tarkasti. Olemassa olevien siltojen rakennekuvaukset päivitetään yleispiirustuksien pohjalta ja uusille rakenteille määritetään tarkkuustasovaatimuksia. Tavoitteena on, että rakennekuvaus pystytään lukemaan suoraan tietomallista rajapinnan avulla Taitorakennerekisteriin. (Liikennevirasto 2017g.)



Kuva 20. Liikenneviraston Taitorakennerekisterin hierarkiatasot (muokattu lähteestä Liikennevirasto 2017g).



Kuva 21. Esimerkki Taitorakennerekisterin hierarkiasta (muokattu lähteestä Liikennevirasto 2017g).



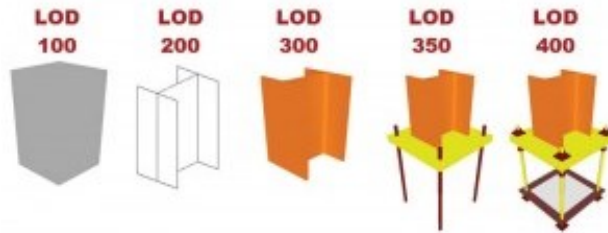
Kuva 22. Esimerkki Taitorakennerekisterin hierarkiasta (muokattu lähteestä Liikennevirasto 2017g).

## 5.2 Tarkkuustasot

Tässä työssä on tavoitteena kehittää tarkkuustasoehdotukset Liikenneviraston siltojen ylläpitomallille. Erityisesti tavoitteena on määrittää olemassa oleville rakenteille tarkkuustasot. Olemassa olevista rakenteista ei ole kannattavaa eikä järkevää laatia yksityiskohtaista ylläpitomallia. Näin ollen ylläpitomallille tulee kehittää tiedon tarkkuustasot, joiden tulee vastata tarpeisiin. Tässä luvussa tarkastellaan aikaisempia määrittämiä tarkkuustasoille.

Yhdysvalloissa ja CityGML –kaupunkimalleissa on hyödynnetty tarkkuustasojä tiedon kuvaamisessa. Yhdysvaltojen American Institute of Architects –järjestö (AIA) on luonut tasot tiedon ja rakennneosien tarkkuudelle tietomallinnuksessa. *Level of Development* eli LoD kuvaa tiedon ja mallin sisältöä ja luotettavuutta. Tällöin eri osapuolet pystyvät arvioimaan, mitä tietoa mallista pystytään saamaan ja mikä on mallin ja tiedon luotettavuus. (Latiffi et al. 2015, s. 933; BIMForum 2016, s. 9.) Tasoja ei ole kuvattu suunnitteluvaiheiden perusteella. Eri tarkkuustason kokonaisuuksia malleja ei ole olemassa, vaan jokainen malli voi sisältää monen eri tarkkuustason tietoja ja rakennneosia. (BIMForum 2016, s. 9 & 12–13.) Tasot ovat jaettu viiteen eri tasoon; LoD 100, LoD 200, LoD 300, LoD 350, LoD 400 ja LoD 500, joista LoD 500 on tarkin taso (Yoders 2014, s. 1–2; BIMForum 2016, s. 9 & 12–13). Taso LoD 100 kertoo komponentin olemassaolon, mutta ei sen muotoa, kokoa tai tarkkaa sijaintia. LoD 200 –tasolla kuvataan likimääräisesti komponentin määrät, koko, muoto, sijainti ja suunta. Taso LoD 300 kuvaa komponentin määrät, koon, muodon, sijainnin ja suunnan tarkasti. Projektin kohteen origo määritetään ja komponentti mallinnetaan origon suhteen oikeassa kohdassa. LoD 350 –tasolla muun muassa muiden rakenteiden vaikutukset ovat lisätty tietomalliin. Taso LoD 400 sisältää detaljitason mallinnuksen, valmistuksen, kokoonpanon ja asennuksen tie-

don. (BIMForum 2016, s. 12–13.) Kuvassa 23 on esitetty American Institute of Architects –järjestön määrittelemät teräspilarin LoD –tasot.



Kuva 23. American Institute of Architects –järjestön määrittämät teräs pilarin LoD –tasot (BIMForum 2016, s. 42–43).

CityGML 2.0 määrittelee viisi Level of Detail eli LoD –tasoa geometria- ja ominaisuustietoja sisältävälle kaupunkimallille. LoD –tasot kuvaavat, miten paljon kolmiulotteinen malli vastaa oikeaa tilannetta ja mitkä ovat mallin käyttömahdollisuudet. (Biljecki et al. 2016, s. 25.) Tarkkuustasoilla pystytään määrittämään saman alueen asioita eri tarkkuuksilla. Tarkempaa mallia voidaan soveltaa useampaan eri asiaan, mutta tarkka malli vaatii enemmän työtä ja kustannuksia. Kuvassa 24 on esitetty viisi eri LoD –tasoa, joista LoD0 on karkein taso. LoD0 on 2,5D kuvaus rakennusten peittoalueesta ja/tai katon kulmista. LoD1 –taso on laatikkomalli kohteesta ja LoD2 –taso sisältää lisäksi esimerkiksi kattogeometriaa ja muiden pintojen geometriaa. LoD3 –taso sisältää muun muassa ovet ja ikkunat, ja LoD4 –taso sisältää näiden lisäksi rakennuksen sisätilat. (Boeters et al. 2015, s. 2248–2249.) Kuvassa 25 on esitetty vastaavia tarkkuustasoja silloille CityGML kaupunkimalleissa.

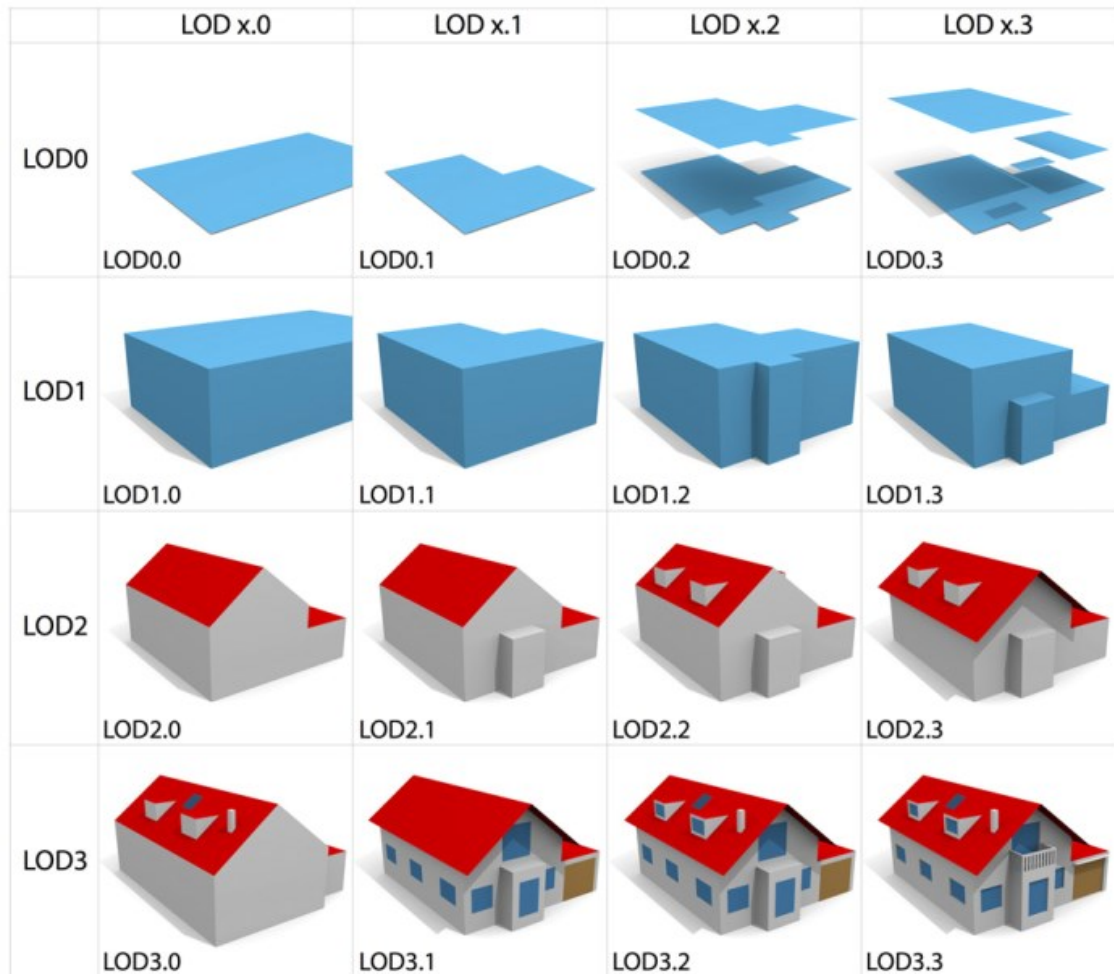


Kuva 24. CityGML 2.0 –järjestelmän viisi LoD –tasoa (Biljecki et al. 2016, s. 26).

LoD	CityGML Versio	Alkuperäinen järjestelmä	Kuva
LoD 1	CityGML 2.0	Skechup, CityEditor (3DIS GmbH) ja ohjekirja	
LoD 2	CityGML 2.0	Skechup, CityEditor (3DIS GmbH) ja ohjekirja	
LoD 3	CityGML 2.0	Skechup, CityEditor (3DIS GmbH) ja ohjekirja	

Kuva 25. CityGML 2.0 siltojen tarkkuustasoja (muokattu lähteestä CityGML 2017).

Biljeckin et al. (2016, s. 25) tutkimuksessa esitettiin, että viiden LoD –tason määritelmä CityGML-standardissa ei ole riittävä. Tutkimuksessa ehdotettiin, että tasot LoD0–LoD3 tulisi kukin jakaa neljään erilaiseen tasoon. Tällä pyritään siihen, että tasot ovat määriteltä tarkemmin ja mallinnuksessa ei ole niin paljon vapauksia. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti geometrisiin ominaisuuksiin tietomallissa. Kuvassa 26 on esitetty ehdotetut tarkemmat LoD –tasot CityGML kaupunkimallille. Löwnerin et al. (2013, s. 466) tutkimuksessa esitettiin, että CityGML standardissa täytyy erotella geometriset tarkkuustasot (*GLoD*, *Geometrical Level of Detail*) ja ominaisuustietojen tarkkuustasot (*SLoD*, *Semantical Level of Detail*).



Kuva 26. Biljeckin et al. esittämät (2016, s. 27) tarkemmat määrittelyt LoD –tasolle.

American Institute of Architects –järjestön ja CityGML:n LoD –määritelmiä voidaan hyödyntää, kun luokitellaan tarkkuustasoja Liikenneviraston ylläpitomallille. Yhdysvalloissa kehitetyssä LoD –määrittelyssä tarkinta tasoa käytetään ylläpitovaiheessa (Natspec 2013, s. 10; Latiffi et al. 2015, s. 936). Tätä määritelmää voidaan soveltaa uusien rakenteiden tapauksessa, mutta olemassa oleville silloille tarkinta LoD –tasoa ei ole kannattavaa tehdä. Olemassa olevien siltojen ylläpitomallille tulee miettiä tarkkaan, mitä tietoja siinä todella tarvitaan. Esimerkiksi käyttäjien tietotarpeet tulee ottaa huomioon tarkkuustasojen määrittelyssä.

## 5.3 Käyttäjien vaatimukset

### 5.3.1 Ylläpitomallin käyttäjät

Liikenneviraston ylläpitomallin vaatimukset tulee luoda käyttäjien tarpeita vastaavaksi. Ylläpitomallin eri käyttäjät asettavat erilaisia tarpeita ylläpitomallille. Esimerkiksi tilaaja, kunnossapitäjä, tarkastaja ja korjaussuunnittelija tarvitsevat erilaisia tietoja työssään. Diplomityön tutkimuksen aikana suoritettiin haastatteluja siltojen ylläpidon eri asiantuntijoille, minkä avulla selvitettiin eri käyttäjien ja käyttötapausten kautta tarpeita ja mahdollisuuksia ylläpitomallille. Tässä luvussa on esitetty asiantuntijahaastatteluiden tuloksia. Haastatteluissa käytiin läpi erilaisia tehtäviä siltojen ylläpidon parissa ja siinä tarvittavia tietoja. Erityisesti huomiota kiinnitettiin tietoihin, joita ei tällä hetkellä ole helposti saatavilla. Haastatteluissa ilmenneitä asioita käytettiin yhtenä perusteena Taitorakennerekisterin tietotarpeille. Haastateltavat työskentelevät asiantuntijoina Suomessa eri organisaatioissa ja työtehtävissä. Haastateltavia on sekä julkiselta että yksityiseltä sektorilta ja taulukossa 3 esitetyistä jokaisesta käyttäjäryhmästä. Asiantuntijat ovat esitetyinä taulukossa 2 ja lähdeluettelon päätteenä. Haastattelujen tarkoituksena ei ollut saada yhtenevää vastausta tiettyyn kysymykseen, vaan määritellä kunkin haastateltavan työtehtäviin liittyviä tietotarpeita. Eri tehtävissä olevilla henkilöillä oli erilaisia näkemyksiä tietomallinnukseen liittyen. Tietotarpeet vaihtelivat henkilön työkuvaan mukaan.

Taulukko 2. Asiantuntijahaastattelut

Asiantuntija	Organisaatio
Alajoki Ville	Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Beversdorf Michael	SVS Innovations
Hämäläinen Jussi	Destia Oy
Kjellman Jouko	Ramboll Finland Oy
Lehtinen Sakari	Datacubist Oy
Litmanen Juha	Sweco Finland Oy
Meriläinen Jani	Liikennevirasto
Myllymäki Heikki	Liikennevirasto
Niemi Henry	Siltainsinöörit TH Oy
Nykänen Simo	A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Piispanen Matti	Liikennevirasto
Rauhanen Mikko	SiltaExpert Oy
Raunio Heini	Liikennevirasto
Repo Timo	ELY-keskus
Rytkönen Antti	Liikennevirasto
Ryynänen Seppo	ELY-keskus
Saastamoinen Teemu	ELY-keskus
Silvander Jarmo	Destia Oy
Torkkeli Minna	Liikennevirasto
Turunen Timo	Siltainsinöörit TH Oy
Äijälä Markku	Liikennevirasto

Ylläpitomallin käyttäjät (taulukko 3) tunnistettiin haastatteluiden ja silta-asiantuntijoiden avulla. Tilaaja osapuoli tekee siltojen ylläpidon ohjelmointia ja ohjausta. Tilaajan ylläpidon toimintalinjoja ohjaa rahoitus. Ylläpitoon liittyy siltojen kunnan hallinnan lisäksi omaisuuden hallinta. Tilaaja tutkii siltakantaa eri tavoin. Omaisuuden

nykytilaa selvitetään tarkastusten avulla. Tarkastuksia on erilaisia: vuositarkastus, yleis-  
tarkastus, laajennettu yleistarkastus, erikoistarkastus, vastaanotto tarkastus ja tehostettu  
tarkkailu. Kunnossapidon ohjelmoinnin avulla ohjataan rakenteita tarkempaan tarkas-  
tukseen ja korjaukseen. Urakoitsija toteuttaa korjaukset. Korjauksen laajuuden mukai-  
sesti voidaan tarvita korjaussuunnitelmat, jotka laatii korjaussuunnittelija. Ylläpitomal-  
lin laatijat, päivittäjät ja ohjelmistojen kehittäjät mahdollistavat ylläpitomallin käytön ja  
toimivuuden. Avoimesta tietokannasta tietoja voivat hyödyntää useat eri tahot ja se avaa  
uusia mahdollisuuksia ja käyttötapauksia.

**Taulukko 3. Ylläpitomallin käyttäjät**

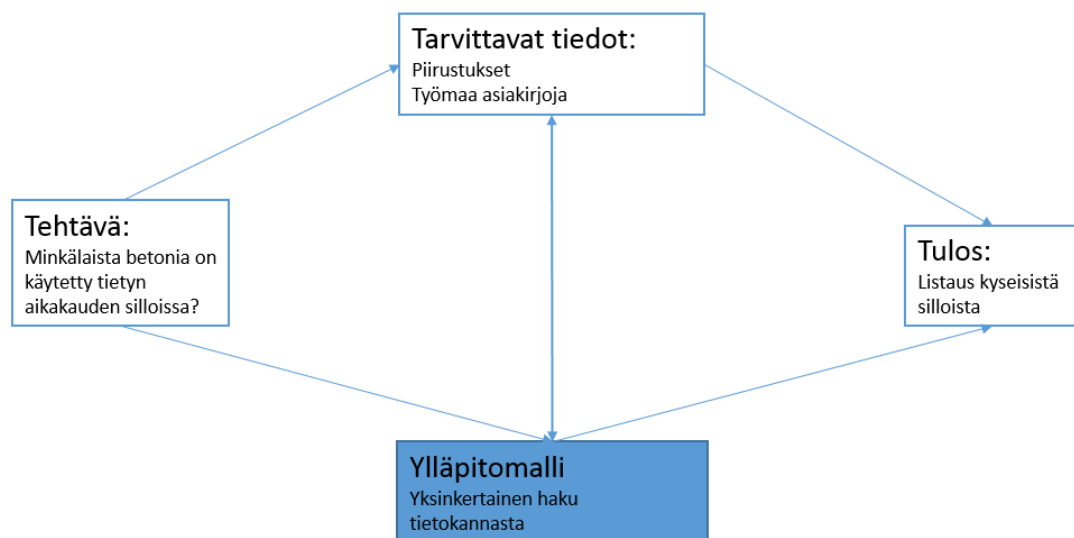
Käyttäjä	Tehtävä
Tilaaja (omistaja)	Kunnossapidon ohjelmointi, kunnossapidon ohjaus, rahoitus, tutkimus
Tarkastaja	Vuositarkastus, yleistarkastus (laajennettu), erikoistarkastus, vastaanotto tarkastus, tehostettu tarkkailu
Kunnossapitäjä/Urakoitsija	Ylläpitokorjaukset, peruskorjaukset, hoito
Korjaussuunnittelija	Korjaussuunnitelmat
Ylläpitomallin laatija	Mallinnus (lähtötiedot), päivitys
Ohjelmistojen kehittäjät	Ylläpitomallin laatimisen kehitys
Kolmas osapuoli (ulkoiset käyttäjät)	Saatavilla olevan tiedon hyödyntäminen, mahdollisuudet?

### 5.3.2 Tilaaja

Haastattelujen perusteella siltakannan omistajalla on eniten tietotarpeita erityisesti omaisuuden hallintaan liittyvissä tehtävissä. Haastateltavien mukaan siltojen hallinnassa haasteena on erityisesti suuri rakennejoukkojen määrä. Ylläpitomallin kehittyessä suu-  
rempien kokonaisuuksien hallinta on helpompaa, kun luotettavaa ja yksiselitteistä tietoa  
on saatavilla. Suuren tietomäärän hallinnassa on tärkeää, että tieto on luokiteltu joh-  
donmukaisesti, koska silloin se on myös helposti käytettävissä. Liikenneviraston tavoit-  
teena on, että hallinnasta pyritään tekemään ylläpitomallin avulla automatisoidumpaa.  
Tilaajapuolen henkilöstön vähentyessä on tärkeää, että päätöksenteko on helppoa. On  
vaikeaa arvioida, mitä tietoja tulevaisuudessa tarvitaan. Kaikki tieto pystytään käytän-  
nössä tallentamaan Taitorakennerekisteriin, kun sille on käyttötapaus sekä tietokenttä.  
Tieto tulee olla luokiteltua, helposti saatavilla ja tiedon syöttämisen työmäärä tulee olla  
järkevä, jotta suuren tietomäärän hallinta onnistuu. Tuleekin siis arvioida, mitä tietoja  
säilytetään. Tavoitteena voi olla, että tällä hetkellä pystytään arvioimaan esimerkiksi  
seuraavan viiden vuoden tietotarpeet.

Kun ylläpitoon liittyvä tieto on samassa paikassa, on eri osapuolilla saatavilla sama tie-  
to. Päätöksenteko on tällöin helpompaa. Taitorakennerekisterin ylläpitomallin avulla  
pystytään parempaan omaisuuden hallintaan, kun aikaisemmin käytössä ollut Siltarekis-  
teri painottui enemmän kunnonhallintaan. Taitorakennerekisteriin pystytään tallenta-  
maan erilaisia dokumentteja, mikä on tärkeää omaisuuden hallinnassa. Ylläpitomallin  
avulla rakennekannasta pystytään tekemään erilaisia analyyseja ja tällä tavoin ohjaa-  
maan ylläpitoa. Siltakannasta voidaan tehdä historia-analyysejä sillan vaurioiden ete-  
nemisestä. Esimerkiksi ennustettavuus on helpompaa analyyysien avulla. Ylläpitomalli  
mahdollistaa näin myös tutkimuksen teon. Hakujen avulla pystytään tutkimaan, millai-

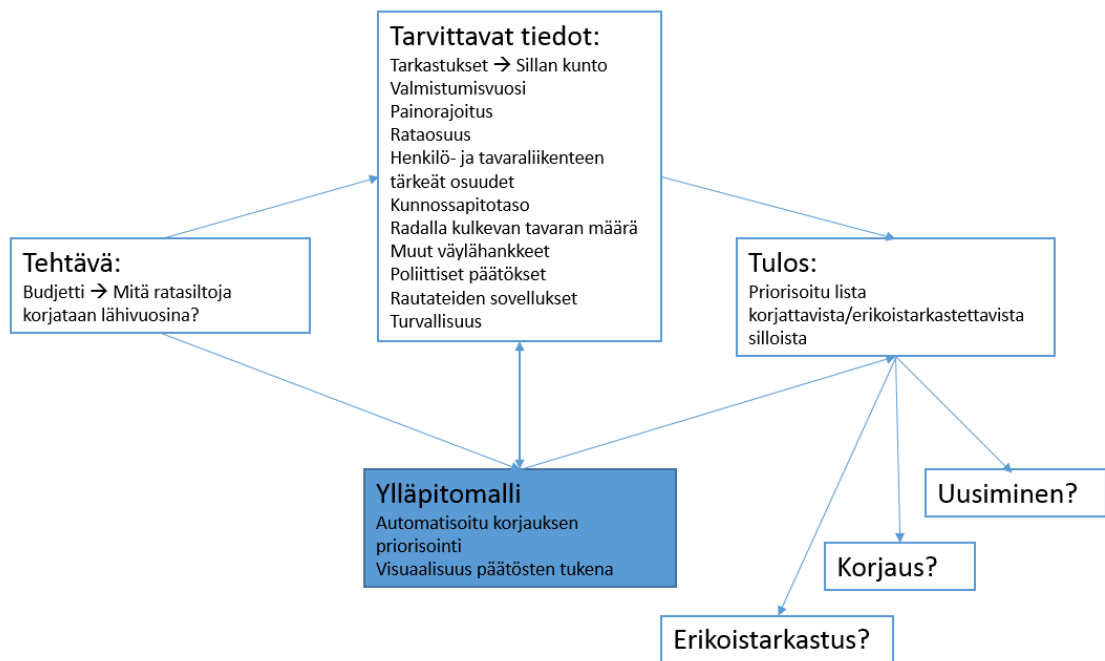
sia rakennustapoja on käytetty tiettyinä vuosina. Kattavan tiedon avulla kyetään analysoimaan, onko jokin suunnitteluperuste ollut parempi kuin toinen tai tutkimaan rakenteiden rappeutumismalleja. Erilaisten ohjelmistojen rajapinnoilla pystytään visualisoimaan ja tekemään analyyskejä vielä tarkemmin esimerkiksi monitorointien avulla. Yksinkertaisten hakujen avulla voidaan selvittää helpommin ja nopeammin esimerkiksi tietyn aikakauden siltoja, joissa on käytetty tiettyjä materiaaleja. Esimerkiksi vuonna 2016 ilmenneet betonin lujuusongelmat ja niihin liittyvät sillat olisi ollut helpompi selvittää yksinkertaisten hakujen avulla. Tilaaja on viime aikoina tarvinnut tietoa myös muun muassa siitä, missä silloissa on käytetty KA-jännemenetelmää tai HILTI-ankkureita. KA-jännemenetelmällä esijännitetyissä rakenteissa on ilmennyt ongelmia muun muassa vetymurtumiin liittyen. Tietojen päivittäminen ja luotettavuus ovat haasteena ylläpitomallin tietosisällön oikeellisuudessa. Kuvassa 27 on esitetty tiedonhaun käyttötapa; mitä tietoja halutaan selvittää, mitä lähtötietoja selvittämiseksi tarvitaan, mikä on lopputulos ja miten ylläpitomallia voidaan hyödyntää tässä.



**Kuva 27. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – tiedonhaku.**

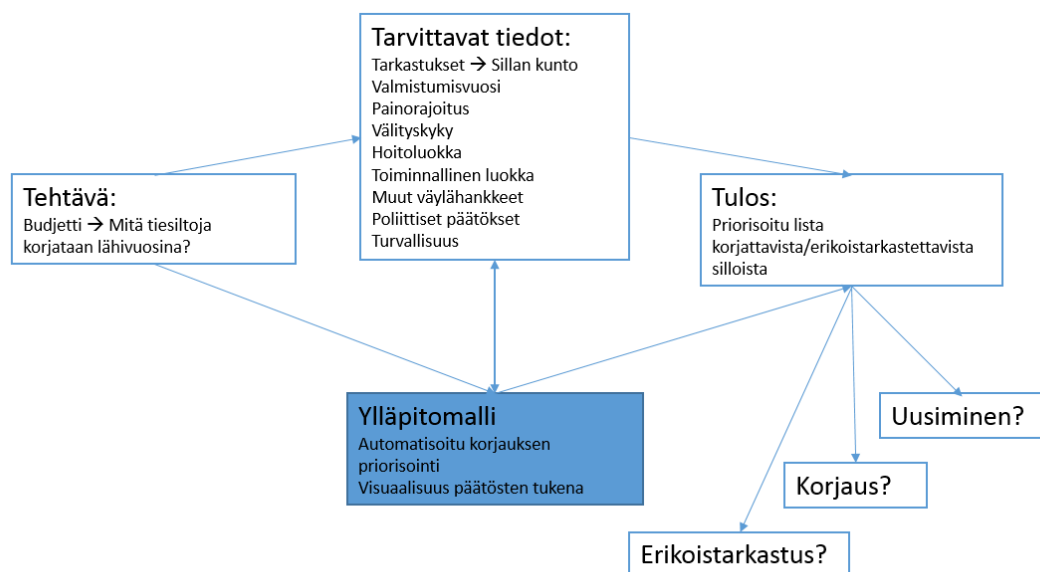
Kunnossapidon ohjelmoinnissa paras tilanne on, että ongelmarakenteet nousevat esille Taitorakennerekisterissä. Tällöin ongelmiin pystytään helposti reagoimaan. Esimerkiksi ratasiltojen kunnossapidon ohjelmoinnissa käytetään tällä hetkellä apuna Excel-tiedostoissa olevia listauksia. Huonokuntoisten siltojen välillä kriteereinä tietyn rataosuuden radalla kulkevan tavarantoiminnan määrää bruttotoimintana, matkojen määrää ja radan kunnossapitotasoa. Henkilöliikenteelle ja tavaraliikenteelle tärkeiden rataosuuksien siltoja priorisoidaan. Esimerkiksi kunnossapitotasoa ei saa suoraan Taitorakennerekisterin kautta, vaan ne täytyy määrittää rataosuuksien avulla. Kuvassa 28 on esitetty käyttötapaesimerkki ratasiltojen ohjelmoinnista ja ylläpitomallin linkittymisestä siihen.





**Kuva 28. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – ratasiltojen kunnossapidon ohjelmointi.**

Tiesiltojen kunnossapidon ohjelmoinnissa arvioidaan siltoja muun muassa kunnan, valmistumisvuoden, hoitoluokan ja toiminnallisen luokan mukaan. Ohjelmoinnissa on lähtökohtana turvallisuus. Jos silta on painorajoitettu tai sillan välityskyky on huono, asetetaan silta korjaukseen aiemmin. Esimerkiksi moottoriteillä sijaitsevia siltoja ei päästetä huonoon kuntoon, vaan niille tehdään enemmän ylläpitokorjauksia. Toisaalta kylätien silta, joka mahdollistaa ainoan kulkuväylän esimerkiksi saareen, on tärkeää pitää kunnossa. Sillan korjauksien yhteydessä saatetaan korjata myös muita lähistöllä olevia siltoja, koska korjaus on kustannustehokkaampaa suorittaa toisen korjauksen yhteydessä. Korjausohjelmointiin vaikuttavat myös poliittiset päätökset. Ohjelmoinnin apuna käytetään Taitorakennerekisterin erilaisia hakutoimintoja. Tiesiltojen ohjelmoinnissa käytännöt vaihtelevat eri puolilla Suomea, mutta Taitorakennerekisterin ylläpitomallin avulla toiminta voi olla yhtenäisempää. Ylläpitomallissa pystytään esimerkiksi visualisoimaan vaurioita värikoodeilla tai muilla tavoin. Korjaussuunnittelun ohjelmointi on tällöin käyttäjäystävällisempää. Kuvassa 29 on esitetty maantiesiltojen ohjelmoinnin käyttötapaus ja ylläpitomallin linkittyminen tähän.



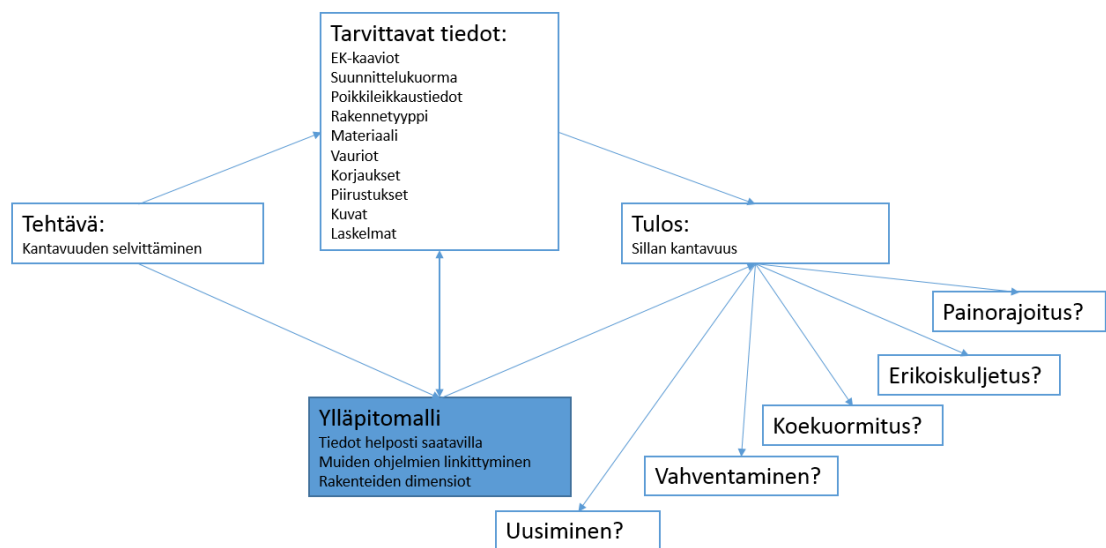
Kuva 29. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – maantiesiltojen kunnossapidon ohjelmointi.

Yksi haastatteluissa ilmennyt ehdotus oli, että niille silloille, joille on ohjelmoitu korjaus muutamien vuosien päähän, voisi tehdä tarkemman ylläpitomallin. Mallia voi hyödyntää sekä erikoistarkastuksessa että korjaussuunnittelun lähtötietona. Jos silta uusitaan kokonaan, tarkkaa mallia ei kannata tehdä. Kolmiulotteisesta mallista on hyötyä esimerkiksi silloin, kun verrataan rakenteesta tehtyä mallia eri tarkastusten välillä ja pystytään arvioimaan, paljonko rakenteessa on siirtymiä. Tällöin kolmiulotteisessa mallissa täytyy olla tarkat sijaintitiedot eri rakennesilla. Isoista ja erikoisista silloista tarvitsee tarkempaa tietoa ylläpitoa varten, kuin tavanomaisista silloista. Kun ylläpitomallissa on tarkat tiedot esimerkiksi erikoiskuljetusreittien ulottumista, on kuljetuksia helpompaa suunnitella. Taitorakennerekisteriin voisi yhdistää myös muiden omistajien väylien tietoja esimerkiksi risteävistä väylistä, joista olisi hyötyä esimerkiksi erikoiskuljetusreittejä tai ylläpitokorjauksia suunniteltaessa.

ELY-keskusten (2017) määritelmässä erikoiskuljetuksella tarkoitetaan kuljetusta, joka ylittää normaaliliikenteelle sallitut mitta- tai massarajat. Erikoiskuljetuksille tulee hakea erikoiskuljetuslupaa Pirkanmaan ELY-keskukselta. Liikennevirasto määrittää sillan ylittämisen ehdot muun muassa sillan kunnon, olemassa olevien kantavuusarvojen tai kantavuuslaskennan perusteella (Liikennevirasto 2015b, s. 11). Suomen tieverkolle on määritelty Suurten erikoiskuljetusten tavoitetieverkko (SEKV), jonka avulla pyritään löytämään käyttökelpoiset reitit erikoiskuljetuksille ja luoda edellytykset elinkeinoelämälle (Liikennevirasto 2013c, s. 9). Siltojen kantavuuksia määriteltäessä tarvittavia tietoja ovat sillan erikoiskuljetuskaavioiden kantavuustiedot (EK-kaavio), suunnittelu-kuormat, poikkileikkaustiedot (hyödyllinen leveys, kaistat, pientareet), rakennetyyppi, materiaali, vauriot, korjaukset ja piirustukset. Nämä tiedot löytyvät Taitorakennerekisteristä. Jos sillan kantavuus on kriittinen tai siihen on tehty kantavuuteen vaikuttavia korjauksia, tarvitaan lisätietoina kuvia, korjauksen tietoja ja laskelmia. Laskelmat täytyy hakea arkistosta. ELY-keskuksen Erikoiskuljetusten reittihakujärjestelmä ERIKU – ohjelma hakee erikoiskuljetusreitit sillat, joiden kantavuus voi olla riittämätön. Kantavuuslaskenta-portaali –järjestelmän avulla määritellään kaikki alle 120 tonnin painoisten kuljetuksien siltojen ylitysehdot. Kantavuuslaskenta-portaali vertailee erikoiskuljetuslupan kaavion voimasuureita laskettujen eri EK-kaavioiden suurimpien sallittujen akselipainojen voimasuureisiin ja ilmoittaa voiko kuljetuksen sallia. Yli 120 tonnin painoisille kul-

jetuksille katsotaan erikseen siltojen ylitysehdot. Työ tulee helpottumaan jatkossa, kun vanhat ylitysehdot ja luvat ovat helpommin haettavissa ELY-keskuksen lupajärjestelmän kautta.

Kantavuuksia määriteltäessä on helpompaa, jos kantavuuslaskelmat ja koekuormitustiedot saadaan Taitorakennerekisteriin. Kun kartoitetaan siltoja, joita täytyy vahventaa, on kartoittaminen helpompaa, kun esimerkiksi Taitorakennerekisterin karttapohjassa on HCT-tavoiteverkot (*High Capacity Transport*), runkoreitit ja muuntajareitit. HCT tarkoittaa normaalia pidempää tai raskaampaa yhdistelmää tieliikenteessä, jota ei kuitenkaan pidetä erikoiskuljetuksena (Trafí 2017). HCT-ajoneuvoille on määritetty lupia tiettyille reiteille Suomessa (Trafí 2017). Runkoreitit ja muuntajareitit kuuluvat Suuren erikoiskuljetusten tavoitetieverkkoon, joka on määritetty Suomen maantieverkolle (Liikennevirasto 2013c, s. 10). Kuvassa 30 on esitetty kantavuuden selvittäminen ylläpitomallin käyttötapausesimerkkinä ja ylläpitomallin linkittyminen siihen.

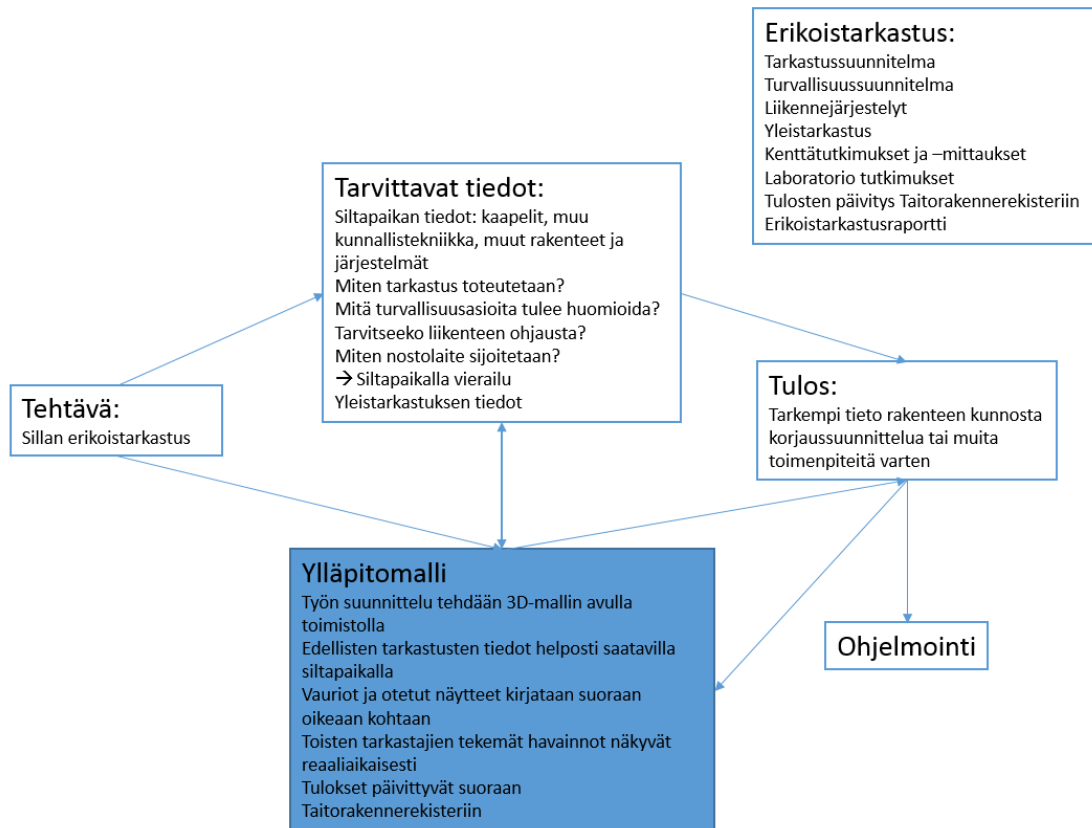


Kuva 30. Ylläpitomallin käyttötapausesimerkki – sillan kantavuuden selvittäminen.

### 5.3.3 Sillantarkastaja

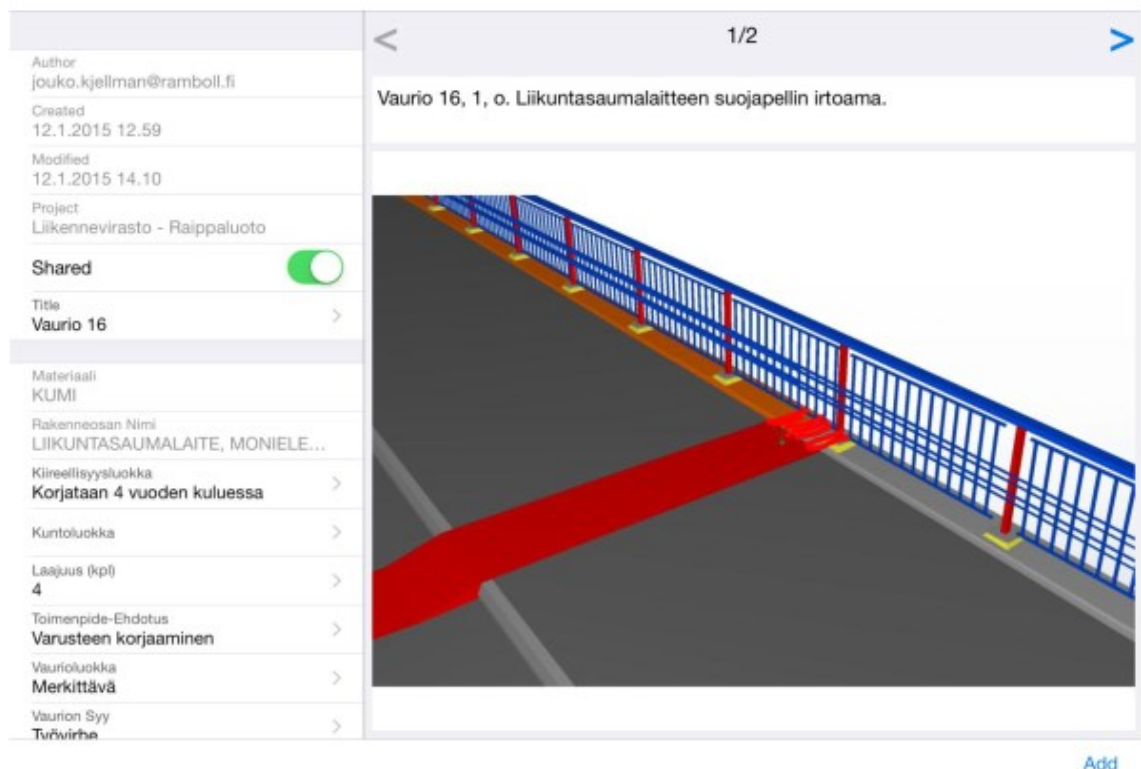
Tarkastuksissa tarvittava tiedon taso vaihtelee eri tarkastusten välillä. Esimerkiksi lähtötiedoiksi silmämääräisessä yleistarkastuksessa riittää Taitorakennerekisterin rakennekuvausten tiedot. Erikoistarkastuksessa tarvitaan enemmän tietoa kohteesta kuten suunnitelma piirustukset ja tietoa rakenteesta, raudoituksista ja rakenteiden mitoista. Erikoistarkastuksessa tarkasta ylläpitomallista on erityisesti hyötyä. Jo yksinkertaistetulla geometriamallilla pääsee hahmottamaan, millainen silta oikeasti on. Tarkan ylläpitomallin avulla suoritettava erikoistarkastus voidaan suunnitella etukäteen turvallisuus huomioiden. Esimerkiksi nostureiden vaatima tila ja liikenteenohjaus pystytään suunnittelemaan kolmiulotteisen ylläpitomallin avulla. Tällaisissa tilanteissa on tärkeää mallintaa myös ympäröivää ympäristöä. Merimerkkien tarkastuksessa tarkastajaa palvelevat tiedot ovat erityisen tärkeitä, sillä merimerkin ollessa korkea tarkastukseen tarvitaan nosturia. Lisäksi, jos merimerkki on puolustusvoimien hallinnoimalla alueella, tarvitaan luvat alueella liikkumiseen. Merimerkkien vaurioiden sijaintitiedot ovat hankalammin esitettävissä kuin sillan. Kolmiulotteinen malli helpottaa vaurioiden kirjaamista oikeaan paikkaan. Vaurion laajuus on helposti esitettävissä kolmiulotteisissa mallissa ja vaurioitu-

misen etenemistä on helpompi havainnollistaa. Kuvassa 31 on esitetty erikoistarkastuksen käytötapaus ja ylläpitomallin linkittyminen tähän.

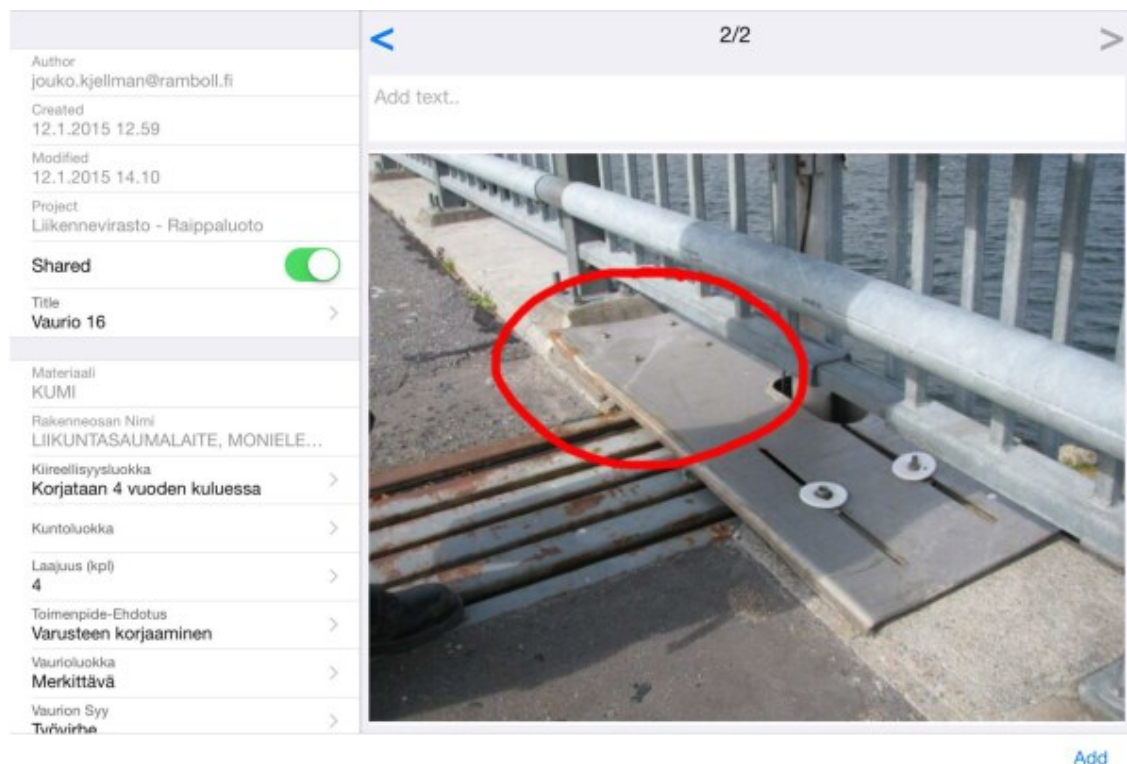


Kuva 31. Ylläpitomallin käytötapaus esimerkki – erikoistarkastus.

Liikennevirasto on toteuttanut pilotteja kolmiulotteisen ylläpitomallin käytöstä siltojen tarkastuksessa. Tarkastuksen suorittamista varten on tällä hetkellä olemassa esimerkiksi mobiilisovelluksia. Piloteissa on havaittu hyötyjä perinteiseen sillantarkastukseen nähden. Ylläpitomalli vähentää tarkastusten manuaalista työtä ja samalla virheiden mahdollisuuksia. Kuvien ja vaurioiden sijaintien määrittäminen helpottuu ja historiatieto on yksiselitteisesti tallessa. Malliin pystyy lisäämään esimerkiksi ääntä tai videoita tiettyyn kohtaan. Kolmiulotteista siltamallia pystytään katsomaan eri suunnista tarkastuksen aikana esimerkiksi tablettitietokoneen avulla. Kolmiulotteinen ylläpitomalli helpottaa rakenteen hahmottamista. Jos tarkastajia on useampi, kaikkien tekemät havainnot päivittyvät malliin reaaliaikaisesti. Erikoistarkastuksen yhteydessä otettavien näytteiden paikat pystytään laittamaan kolmiulotteiseen malliin oikeaan kohtaan. Myös urakoitsija voi hyödyntää näitä tietoja korjauksia toteuttaessa. Taitorakennekisteriin tullaan kehittämään rajapintaa, jonka avulla tarkastuksessa tehty havainnot linkittyvät suoraan Taitorakennekisterin rakennekuvaukseen. Tällöin tarkastustoiminnasta tulee sujuvampaa. Liikenneviraston toteuttamassa pilotissa kommentoitiin, että esimerkiksi varusteiden osalta mallia voidaan täydentää tarkastuksen yhteydessä valokuvilla ja tekstillä. Muun muassa tippuputkien vesivuoto voitaisiin kirjata valokuvien avulla ilman, että niitä on kolmiulotteisesti mallinnettu. Kaiteita ei välttämättä tarvitse mallintaa myöskään geometrisesti. Tarkastuksen yhteydessä mallia voi päivittää todellisen tilanteen mukaiseksi. Kuvissa 32 ja 33 on esitetty esimerkki sillan vaurion kirjaamisesta tietomalliin, kun kyseistä varustetta ei ole mallinnettu malliin. (Kjellman 2015, s. 7)



Kuva 32. Esimerkki sillan vaurion kirjauksesta, jossa ei ole mallinnettu kyseistä varustetta (Kjellman 2015, s. 6).



Kuva 33. Vauriokirjauksen yhteyteen lisätty valokuva vauriosta (Kjellman 2015, s. 6).

Tarkkuustasoiksi olemassa oleville silloille ehdotettiin, että matalin tarkkuustaso on Taitorakennerekisterin rakennekuvaus ja tarkempi tarkkuustaso toteutetaan erikoistarkastusten yhteydessä. Ei ole välttämättä järkevää mallintaa kolmiulotteista mallia epätarkalla tasolla kaikista silloista, koska tulevaisuudessa se voi olla jo melko automaattis-

ta. Tarkastajan kannalta kolmiulotteisessa mallissa tilavuus- tai pintamalli riittää, koska tarkastuksen kannalta ei ole erityisen merkittävää, mitä rakenteiden sisällä on. Pintamalli ei palvele ylläpidossa tarvittavien tietojen osalta, koska tällöin malli ei sisällä tilavuusobjekteja, joihin voisi liittää tietosisältöä. Toisaalta, jos mallissa on myös rakenteen sisällä olevat osat, pystyy vauriota havaittaessa määrittämään myös mitä siinä kohdassa on rakenteessa. Kun rakenteita avataan esimerkiksi korjausten yhteydessä, on tärkeää tietää, mitä esimerkiksi päällysteen alla on. Muita tarvittavia tietoja korjausten yhteydessä voi olla esimerkiksi, minkälaisia johtoja ja kaapeleita sillan kannen yläpuolella on, onko silta jännitetty ja missä kohtaa jänneteräksset ovat. Erikoistarkastuksessa sillasta voi tehdä kolmiulotteisen mallin ja myöhemmin sitä voi hyödyntää korjaussuunnittelussa. Erikoistarkastus johtaakin yleensä sillan korjaukseen. Tilaaajan kannalta kolmiulotteisen ylläpitomallin käyttö tarkastuksissa on hyödyllistä, koska tarkastukseen kulu-  
nut aika lyhenee. Tietosisällöltään tarkemman ylläpitomallin avulla toteutettu tarkastus tulee helpottumaan. Kun tarkastus on helppo suorittaa ja siihen on hyvä ohjeistus, saadaan myös yksiselitteisempiä tuloksia eri tarkastajien välillä. Kun tieto on yksiselitteistä, tarkastuksista saatua tietoa pystytään analysoimaan luotettavasti ja helposti. Tarkastajalle on tärkeää, että tarkastus on helposti tehtävissä ja linkitettynä Taitorakennerekisteriin.

#### **5.3.4 Korjaussuunnittelija**

Korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan joka tapauksessa nykytilan tarkemmittaukset kuten tarkat mitat korjattavasta rakenteesta. Lähtötietoina tarvitaan myös rakenteen alkuperäiset piirustukset, erikoistarkastuksen tulokset ja siltapaikan tiedot lähtötiedoiksi. Korjaussuunnittelussa tarkkuustaso riippuu korjauksen laajuudesta, esimerkiksi jos kansi uusitaan, tarvitaan tiedoksi pilarien tiedot. Jos taas uusitaan reunapalkki, kaiteet tai eristeet, jolloin sillan muoto ei muutu, tietojen ei tarvitse olla niin tarkkoja. Jos korjausta tehdään vain tiettyyn osaan rakenteesta, riittää tarkat tiedot vain tästä osasta. Pääsääntöisesti korjaustyön toteutusta varten tarvitaan korjaussuunnitelmat, joiden perusteella korjaustyö toteutetaan. Erilaiset rakenteisiin liittyvät korjaustoimenpiteet ovat kuvattuna luvussa 3.1. Kuvassa 34 on esitetty korjaussuunnittelun käyttötapaus esimerkki ja ylläpitomallin linkittyminen tähän.



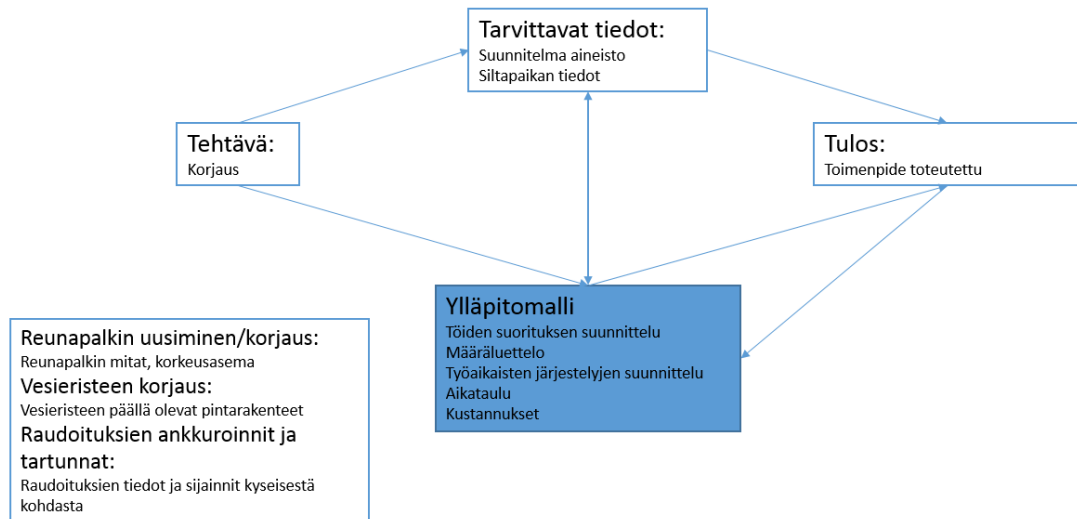
**Kuva 34. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – korjaussuunnittelu.**

Mahdollista korjaussuunnittelua varten tuotetun kolmiulotteisen tietomallin tarkkuustasoksi riittänee betonirakenteiden osalta noin 10–30 mm ja teräsrakenteiden osalta noin 5–20 mm korjaustoimenpiteiden ja –laajuuden sekä kohteen mukaan. Todelliset mitat ja rakenneosien sijainnit on tarkemittattava ja tarkastettava korjaustyön aikana kohteen ja sille suunniteltujen toimenpiteiden mukaan. Kolmiulotteisen mallin avulla pystytään tarkastelemaan suunniteltujen uusien rakenteiden ja vanhojen rakenteiden yhteensovittusta. Kolmiulotteisesta mallista saa myös suoraan määritettyä mittoja, jos malli on riittävän tarkka. Mittojen avulla pystytään määrittämään myös korjausrakoiden määräluetteloita, esimerkiksi montako kuutiota betonia tarvitaan reunapalkin uusimiseen tai minkä verran betonia täytyy poistaa nykyisestä rakenteesta. Kun vaurioiden sijainnit on esitetty geometriamallissa, on korjaustoimenpiteiden suunnittelu helpompaa. Tulevaisuudessa erikoistarkastusten yhteydessä voidaan rakenteelle tehdä laserkeilaus. Laserkeilauksen avulla kohteesta saadaan pistepilviaineisto, jota apuna käyttäen voidaan mallintaa tavoitetasojen avulla tilavuusmalli, mutta raudoituksia ei välttämättä tarvitse mallintaa. Laserkeilausaineisto tulee olla rakenneosakohtaisesti segmentoitu, jotta sitä voidaan hyödyntää ylläpidon hallinnassa. Korjaussuunnittelussa voidaan siirtyä tietomallipohjaiseen suunnitteluun, jos sillasta on tehty jo aiemmin kolmiulotteinen tietomalli.

### 5.3.5 Urakoitsija ja kunnossapitäjä

Korjaussuunnitelmia vaativissa korjauksissa urakoitsija saa tarvittavat tiedot suunnitelmista. Tietomallin avulla voidaan tehdä tarkempi korjaussuunnitelma, jolloin urakoitsija voi määrittää luotettavammin kustannukset. Toisaalta suunnittelija joutuu käyttämään enemmän aikaa, jotta suunnitelma on toimiva. Korjaussuunnittelussa kolmiulotteisesta mallista on apua määrien seurantaan ja muutoksien hallintaan. Korjaussuunnittelun yhteydessä käy usein sellaista, että suunnitelma ei vastaa rakennetta ja korjaustyön laajuus muuttuu oleellisesti, mikä aiheuttaa sivuvaikutuksia ja kustannuksia. Urakkaan ei välttämättä muodostu niin paljon lisätöitä, jolloin korjaustyön toteutuskustannuksien osalta saadaan säästöjä. Kuvassa 35 on esitetty käyttötapaus esimerkki korjauksesta ja ylläpitomallin linkittymisestä tähän. Ylläpitomalli auttaisi erityisesti työnaikaisten järjestelyjen suunnittelussa ennen korjaustyön toteutusta.

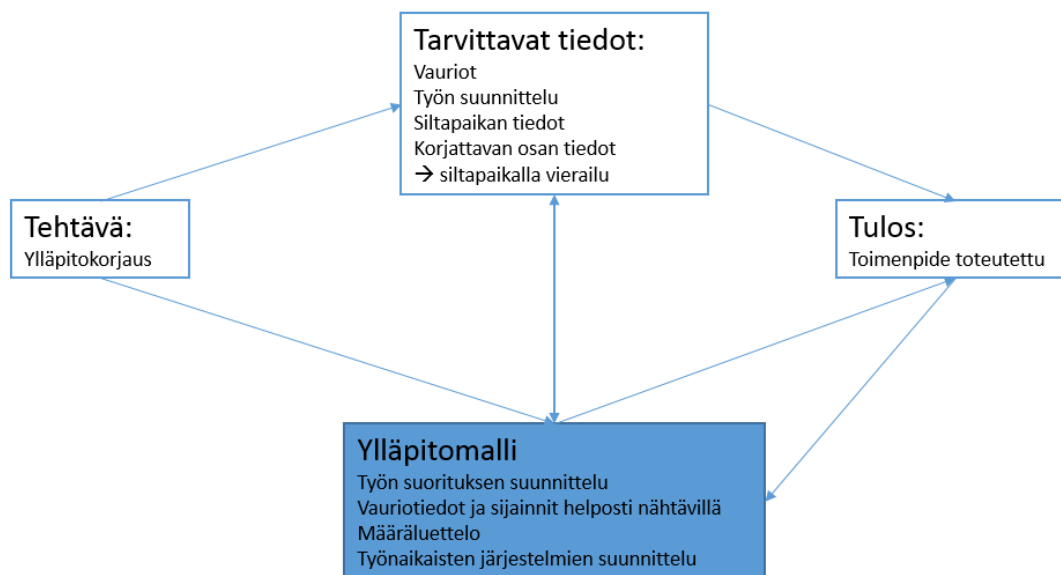




**Kuva 35. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – korjaus.**

Ylläpitokorjauksissa ei ole välttämättä saatavilla korjaussuunnitelmia, vaan työtä varten tarvittavat lähtötiedot saadaan esimerkiksi Taitorakennerekisteristä. Ylläpito- ja alueurakoissa on tärkeää, että tieto on saatavilla eri osapuolilla ja tieto on ajantasaista. Näin voidaan ohjata korjauksia kohteisiin, joissa niitä tarvitaan. Vaurioita ei tarvitse käydä paikan päällä katsomassa, vaan korjausta vaativat sillat nousevat esille Taitorakennerekisterissä. Ajantasaiset tiedot silloille tehdyistä ja suunnitelluista toimenpiteistä on tärkeää olla Taitorakennerekisterissä. Jos sillalle suunnitellaan peruskorjausta lähivuosina, ei rakenteelle tällöin kannata tehdä pieniä ylläpitokorjauksia. Monien olemassa olevien siltajärjestelmien tiedot ovat virheellisiä Taitorakennerekisterissä, mikä hankaloittaa korjausten tekemistä. Tietojen paikkansapitävyyttä joudutaan tarkastamaan ja vierailemaan siltapaikalla ennen työn suoritusta. Vuositarkastuksien tiedot on myös hyvä saada Taitorakennerekisteriin ohjaamaan ylläpitokorjauksia. Esimerkiksi Liikenneviraston HARJA – järjestelmän (Hoidon alueurakoiden ja ylläpidon urakoiden raportointijärjestelmä) voisi linkittää Taitorakennerekisteriin. Rutinikorjauksissa ylläpitomalli voisi linkittyä kyseisen korjaustoimenpiteen SILKO –ohjeisiin. Kuvassa 36 on esitetty ylläpitokorjauksen käyttötapaus ja sen linkittyminen ylläpitomalliin.





Kuva 36. Ylläpitomallin käyttötapaus esimerkki – ylläpitokorjaus.

Ylläpitokorjauksissa tarvitaan lähtötietoja korjattavasta rakenteesta. Reunapalkin korjauksen yhteydessä tarvitaan reunapalkin mitat ja korkeusasema. Vesieristeen korjauksessa tarvitaan tietoja vesieristeen päällä olevista pintarakenteista. Raudoitustiedot helpottavat tartuntojen ja ankkurointien suunnittelua. Yksittäisten kaiteiden korjauksessa kaidetyypin tieto auttaa työn suorittamista, kun oikeanlaiset osat pystytään hankkimaan ennen siltapaikalla käyntiä. Liikuntasuunnittelua korjataan paljon ja näissä kolmiulotteinen ylläpitomalli on hyvä apuväline. Eri rakenneosien mitat ja materiaalit on hyvä olla tiedossa. Mittojen ja materiaalien avulla pystytään arvioimaan menekkejä. Työn aikaisia liikennejärjestelyjä varten tarvitaan lähtötiedoiksi hyötyleveydet, liikennemäärät sekä tietoja siltapaikasta kuten näkemäesteet ja ajoneuvojen mahdolliset pysäytyspaikat. Korjaustöiden suunnittelussa kolmiulotteisesta ylläpitomallia voi hyödyntää, kun suunnitellaan kiertotietä; mihin voi sijoittaa kiertotien, montako kaistaa on mahdollista sijoittaa kiertotielle, tarvitseeko piennarta päällystystä ja minkä kokoinen keskijakaja on. Tällä hetkellä Taitorakennerekisterissä on määritetty sillan poikkileikkaus vain yhdestä kohdasta, eikä sitä, miten poikkileikkaus muuttuu sillan pituudella.

Kolmiulotteisesta ylläpitomallista on hyötyä erityisesti pienemmissä hoitoon ja ylläpitoon liittyvissä yksittäisten vaurioiden korjauksissa, joita varten ei välttämättä tehdä korjaussuunnitelmia. Tiedon tason ei kuitenkaan tarvitse olla niin tarkka kuin Taitorakennerekisterin rakennekuvaus. Ylläpitokorjauksissa silmällä nähtävien asioiden tieto on tärkein. Vaurioiden havainnointi paikan päällä on myös helpompaa ylläpitomallin avulla. Ylläpitomallista selviää paremmin vaurioiden sijainti ja laajuus, jolloin korjaus on helpompi osoittaa oikeaan kohtaan. Joissakin tapauksissa on vahingossa korjattu väärä vaurio. Vaurioiden historiatieto on myös tärkeä tieto, jotta voidaan selvittää muun muassa se, onko jokin vaurio uusiutunut, vaikka vaurio onkin aikaisemmin korjattu. Myös vesivaurioiden sijainti- ja historiatiedot ovat erityisen tärkeitä. Vaikka vesivaurio on korjattu, siitä voi jäädä jälki sillan kanteen ja seuraavassa tarkastuksessa voidaan luulla, että kohdassa on vieläkin vesivaurio. Tietojen ajantasaisuus ja luotettavuus vähentävät kokeilujen ja hukkatyön määrää. Parempi tilanne on se, että tietoa ei ole ollenkaan kuin, että se on virheellistä.

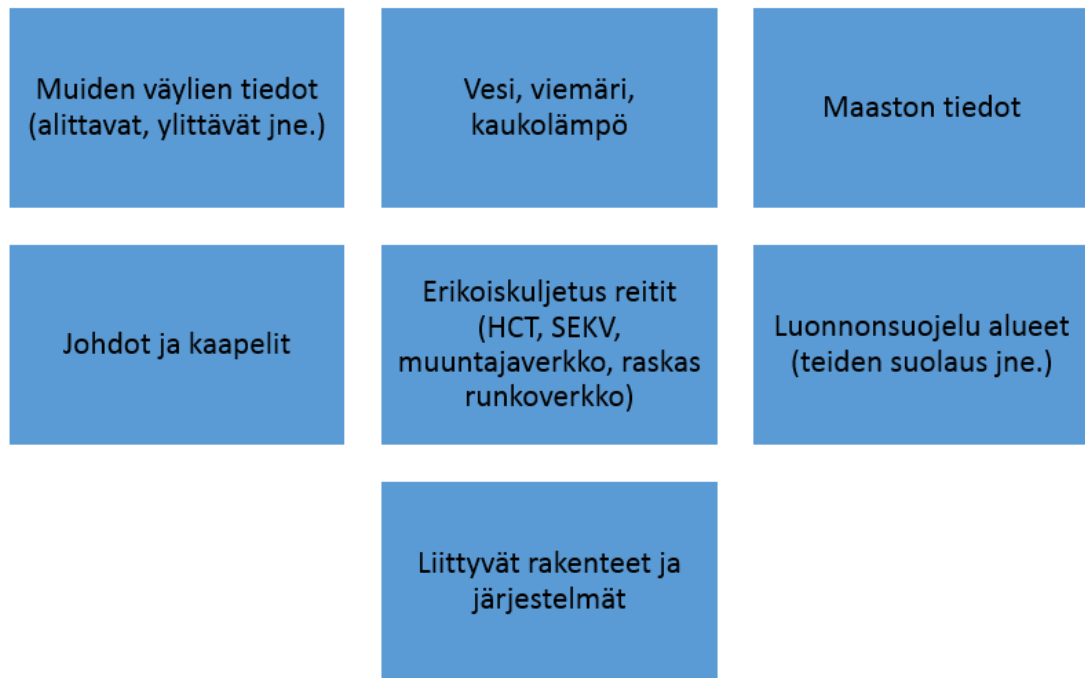
### 5.3.6 Käyttäjien haastatteluiden yhteenveto

Haastatteluiden perusteella tietotarpeet vaihtelevat käyttäjien työtehtävien mukaan. Omistaja tarvitsee tarkinta tietoa siltakannastaan omaisuuden hallintaa varten. Tarkastajille, urakoitsijoille ja suunnittelijoille riittää kyseisessä työtehtävässä tarvittavat lähtötiedot. Kuvassa 38 on esitetty käyttäjien haastatteluiden perusteella yhteenvetona ylläpitomallin tärkeimpiä tarpeita toimintatapoihin liittyen. Erityisesti tiedon luotettavuus, ajantasaisuus ja oikeellisuus ovat tärkeimpiä ominaisuuksia ylläpitomallissa. Haastatteluissa ilmeni myös yksittäisiä tietotarpeita rakenneosille.



Kuva 37. Ylläpitomallin tarpeita käyttäjien haastatteluiden perusteella.

Ylläpitomallin ja taitorakennerekisterin tavoitteena on, että tieto on helposti saatavilla ja se on yksiselitteistä. Silloin myös muut kuin silta-alan henkilöt pystyvät hyödyntämään olemassa olevaa tietoa. Tien käyttäjät voivat hyödyntää avoimia tietokantoja. Taitorakennerekisterin rajapinnoista muihin sovelluksiin kuten ulkoisiin karttasovelluksiin, kaupunkien infraan, viemäriverkostoihin, kaupunkimalleihin, tele- ja kaapelitietoihin voi saada tukea päätöksentekoon tai korjausten suorittamiseen. Esimerkiksi kaapeleiden oikean sijaintitiedon sillan yhteydessä saa tällä hetkellä lähinnä vain maastokäyntien avulla. Myös tie- ja rata-asiantuntijat pystyvät hyödyntämään suoraan tietoja Taitorakennerekisteristä. Uusia käyttötapauksia tulee luultavasti lisää, kun tieto on helposti saatavilla ja Taitorakennerekisterin käyttö on sujuvaa. Tällöin tieto on saatavilla myös päättäjille. Omistajan kannattaa jakaa tietojaan omaisuudestaan, mikä voi vähentää omistajan työtä. Muun muassa palveluntarjoajat voivat tehdä suoraan tarjouksia saatavilla olevien tietojen avulla. Avoimuus parantaa kilpailukykyä myös silta-alalla, kun tiedot ovat käytössä muissakin yrityksissä kuin siellä, missä tietomalli on tehty. Kustannusten arviointi on tärkeää, kun määritellään, millainen ylläpitomalli on järkevää tehdä. Kuvassa 37 on esitetty yleisesti siltapaikalta tarvittavia tietoa, jotka tulivat ilmi haastatteluissa.



**Kuva 38. Siltapaikan tietotarpeita.**

Kolmiulotteisia ylläpitomalleja on validoitu siltasuunnitelmien ja toteutumien pohjalta ja olemassa olevista silloista on tehty ylläpitomalleja laserkeilausaineistoja hyödyntämällä. Ylläpitomalleja laadittaessa tärkeää on, että toimintatavat ovat yhtenäiset. Tietoa pitää myös pystyä lisäämään helposti ajan kuluessa. Kun tiedoston koko kasvaa, mallin-  
 nusohjelmisto toimii hitaammin. Jos malli on todella tarkka, mallinnus voi hankaloitua. Laserkeilauksella tehty malli on todettu melko hyväksi tavaksi määrittää sillan lähtötiedot. Kolmiulotteisten tietomallien käytössä on vielä hankaluuksia, koska tietomallin käyttö vaatii uuden toimintatavan opettelua. Jotta kolmiulotteiset tietomallit saadaan käytäntöön, pitää tietomallien käyttöä vaatia. Uusien työtapojen integroituminen käytäntöön vaatii, että vanhat ajattelutavat muuttuvat. Tietomallintamalla tehtyjä malleja ei vielä hyödynnetä niin paljon kuin olisi mahdollista. Usein tietomallipohjaisia suunnitelmia ei hyödynnetä työmaalla eikä myöhemmin ylläpidossa. Pienemmillä urakoitsijoilla ei ole välttämättä mahdollisuuksia hyödyntää tietomallia yhtä hyvin kuin isommillä urakoitsijoilla kustannusten vuoksi. Mallien tulkinnan helppous ja yksiselitteisyys ovat tärkeitä ominaisuuksia, jotta eri osapuolet pystyvät hyödyntämään mallia.

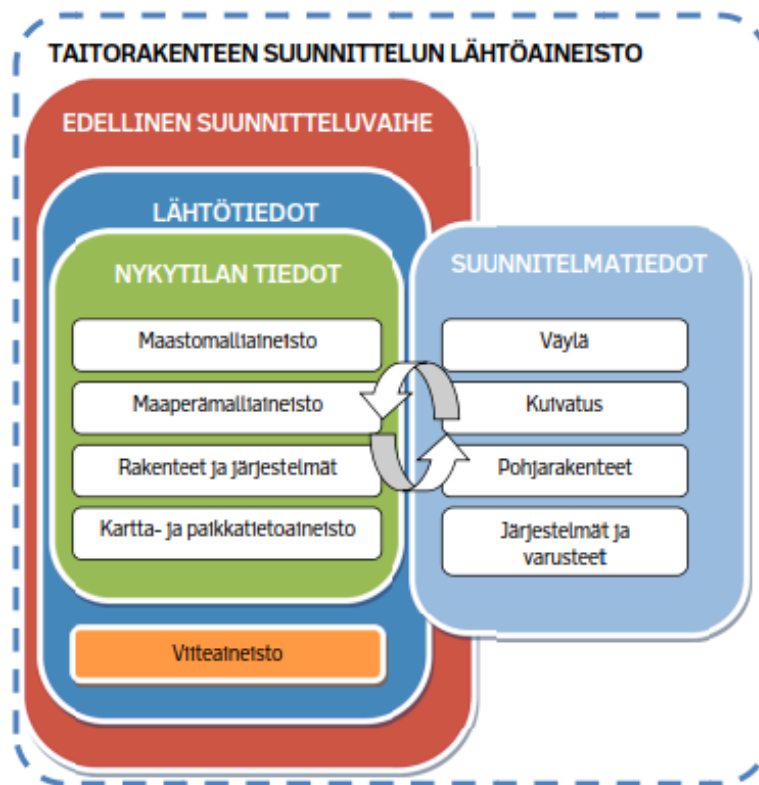
#### **5.4 Sillan suunnittelun tietosisältö**

Sillan suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa muodostuva tieto muodostaa sillan ylläpidon lähtötiedot. Tässä luvussa on kuvattu Liikenneviraston toimintaperiaatteet sillan suunnittelussa. Sillan suunnittelua varten tarvitaan tietoja siltapaikasta. Siltapaikan laajuus vaihtelee hankekohtaisesti. Laajuuteen vaikuttavat muun muassa sillan koko, siltapaikkaluokka, lähiympäristön rakenteet ja infrastruktuuri. Suunnittelun lähtötiedot hankitaan inventointien avulla. Tarkoituksena on selvittää siltapaikan ympäristön tila ja ominaisuudet. Inventointi tarkentuu suunnitteluvaiheen ja työn edistyessä, ja sitä suoritetaan suuremmissa siltahankkeissa. Inventointi tehdään mieluiten esi- tai yleissuunnitteluvaiheessa, mutta viimeistään siltapaikan maasto- ja pohjatutkimusten yhteydessä. Sillan suunnittelun lähtötietoaineisto jakaantuu kolmeen osaan:

1. lähtötietoihin, jotka koostuvat nykytilan tiedoista ja viiteaineistoista

2. edellisen suunnitteluvaiheen suunnitelma-aineistosta
3. muiden tekniikkalajien suunnittelijoilta saatuun kyseisen suunnitteluvaiheen suunnitteluaineistoon. (Liikennevirasto 2014d, s. 18–19 & 21.)

Kuvassa 39 on esitetty taitorakenteen suunnittelun lähtötietoaineisto. Liitteessä 1 on kuvattu siltasuunnitelmien sisältö sekä lähtötietojen sisältö tarkemmin. Suunnittelun lähtötietojen tarkkuusvaatimukset määräytyvät pääosin suunnitteluvaiheen ja siltapaikaluokituksen mukaan (Liikennevirasto 2014d, s. 36).



**Kuva 39. Taitorakenteen suunnittelun lähtötietoaineisto (Liikennevirasto 2014d, s. 21).**

Tietomalleja hyödynnetään siltojen suunnittelun eri vaiheissa (Akcamente et al. 2010, s. 2; Kang 2017, s. 14) ja mallinnustarkkuus vaihtelee projektikohtaisesti (buildingSMART Finland 2015c, s. 4). Suunnittelussa kerätään ensimmäiseksi lähtötiedot ja luodaan lähtötietomalli. Lähtötietomalli tarkoittaa mallia, johon on kerätty aineistoa digitaalisessa muodossa eri tietolähteistä esimerkiksi maastomallista ja nykyisten rakenteiden tiedoista. (buildingSMART Finland 2015c, s. 4.) Lähtötiedot voivat sisältää kaksi- ja kolmiulotteisia aineistoja ja dokumentteja. Lähtötietomallilla voidaan koota, muokata ja hallita hankkeen nykytilaa kuvaavia lähtötietoja. Erityisen tärkeää on dokumentoida eri lähteiden metatiedot, jolloin esimerkiksi muokkaustoimenpiteet ovat tiedossa. (Liikennevirasto 2014d, s. 9.) Nykytilamallilla tarkoitetaan mallia, joka kuvaa kohteen nykyistä tilaa sellaisena kuin se todellisuudessa on (buildingSMART Finland 2015c, s. 4).

Maastomalli laaditaan maastomittauksen perusteella (Liikennevirasto 2014d, s. 27). Tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa tarvittavat maastomittaukset ovat kuvattu Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot –mittausohjeessa (Liikennevirasto 2017h, s. 8). Malli voidaan tuottaa esimerkiksi laserkeilaamalla helikopterilla tai ajoneuvolla, maalaserkeilauksella, muilla fotogrammetrisillä mittauksilla tai maastokartoituksella.

Yleispiirteistä maastomallia voidaan hyödyntää esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa ja tarkkaa maastomallia tie-, rata- ja rakennussuunnittelussa. Tarkemmassa maastomallissa on laadittu pintamalli maanpinnalle ja kalliopinnalle. Malli sisältää myös kartoitustietoja, jotka ovat maanpäällisiä tai maanalaisia rakenteita tai maanpinnalla olevia kuviorajoja. Maaperän lähtötiedot hankitaan pohjatutkimuksien perusteella. (Liikennevirasto 2014d, s. 27.)

Esisuunnittelu voi liittyä esimerkiksi maankäytön, hankkeen tarveselvityksen, toimenpideselvityksen suunnitteluun tai ympäristövaikutusten arvioinnin tekemiseen (YVA). Esisuunnittelun tavoitteena on eri väylien linjausvaihtoehtojen tai esimerkiksi siltavaihtoehtojen selvittäminen sekä luoda lähtökohdat yleissuunnittelulle. Esisuunnitteluvaiheessa ei ole käytössä edellisen suunnitteluvaiheen tietoja lähtötietoina. (Liikennevirasto 2014d, s. 12, 28 & 30.) Tietomallipohjaisessa esisuunnitteluvaiheessa mallinnetaan siltapaikkaluokkien I–II siltoja. Erilaisia vaihtoehtoja pystytään havainnollistamaan väylämallin, maastomallin ja siltavaihtoehtojen perusteella tehtyjen yhdistelmämallien avulla. (Liikennevirasto 2014c, s. 19.) Yhdistelmämalli on eri tietomalleista yhdistetty malli, jolla voidaan varmistaa eri tekniikkalajien ja hankeosien yhteensopivuus (buildingSMART Finland 2015b, s. 7).

Sillan yleissuunnittelun lähtötietona voi olla esisuunnitteluaineisto. Pienissä hankkeissa esi- ja yleissuunnittelua ei välttämättä tarvitse tehdä erillisenä vaiheena. Yleissuunnitteluvaiheessa tarpeellisia lähtötietoja ovat muun muassa sillan sijainti tai siltapaikan kartta ja suunnitteluvaihekohtaiset suunnitteluperusteet sekä muiden tekniikkalajien suunnitelmätietojen osalta väylän tai väylävaihtoehtojen geometriat, poikkileikkaustiedot, liikennetekniset mitat, sillan sijaintitieto, vesistösiltojen vesiväylän alustava mitoitus ja silta-aukon alustava määrittäminen sekä geoteknisten suunnitelmien alustava esitys sillan perustamisesta. (Liikennevirasto 2014d, s. 12.) Tietomallipohjaisessa yleissuunnitteluvaiheessa silloista mallinnetaan kaikki näkyvissä olevat rakenteet ja varusteet sekä siltaan liittyvät maastorakenteet. Yleissuunnitteluvaiheessa laaditaan eri vaihtoehtoja ja selvitetään sillan rakentamisen vaikutusta ympäristöön. Tietomalli helpottaa eri vaihtoehtojen vertailua. (Liikennevirasto 2014c, s. 20.)

Siltasuunnitelma liittyy tie-, rata- ja katusuunnitelman laatimiseen sekä vesistösiltojen vesilainmukaiseen käsittelyyn. Sillasta toteutetaan pääpiirustus ja rakentamiselle haetaan luvat. Pääpiirustuksessa esitetään sillan ulkonäkö, rakenteet, päämitat ja sovittaminen tie-, katu- tai ratasuunnitelmaan. Lähtötietoina tarvitaan edellisten suunnitteluvaiheiden lähtötietojen lisäksi muun muassa väylärakenteen ylä- ja alapinnan pintamallit, pinta- ja pohjavesitiedot, lausunnot ja päätökset sekä lähtötietojen päivitykset. Tietomallipohjaisessa siltasuunnitelmassa mallinnetaan näkyvissä olevat rakenteet, alusrakenteet kokonaisuudessaan sekä siltaan liittyvät maastorakenteet. Varusteet ja laitteet mallinnetaan tarkoituksenmukaisilta osiltaan. Raudoituksia ja pieniä detaljeja ei mallinneta. (Liikennevirasto 2014c, s. 21–22 & 30.)

Rakennussuunnitteluvaiheessa sillasta laaditaan rakennussuunnitelma, jonka perusteella rakennustyö voidaan toteuttaa. Lähtötietoina tarvitaan edellisten suunnitteluvaiheiden lähtötietojen lisäksi muun muassa maaperämalli pohjatutkimuksineen ja maalajikerrokset ominaisuuksineen, vesien vedenpintatiedot sekä siltasuunnitelmien päätökset ja lausunnot. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa sillasta luodaan täydellinen tuotemalli, joka on mittatarkka. Silta mallinnetaan kokonaisuudessaan laitteineen, varusteineen, raudoituksineen, maaperätietoineen sekä immateriaalitietoineen. Siltapaikasta laaditaan myös yhdistelmämalli. Yhdistelmämallin avulla pystytään huomaamaan eri suunnittelu-

alojen ristiriitaisuuksia. (Liikennevirasto 2014c, s. 23 & 30.) Kuvassa 40 on esitetty siltojen mallinnusvaatimuksia eri suunnitteluvaiheissa. Värikoodilla on merkitty esi-, yleis-, väylä- ja rakennussuunnitteluvaiheiden vaatimuksia eri rakenteille ja varusteille.

	Ei vaatimuksia mallintamiselle.
	Mallinnetaan näkyviin jäävät pinnat merkittävässä kohteissa. Laaditaan pintamalli. (vrt. esi- ja yleis-suunnittelun tarkkuus ja siltaipaikkaluokitus I ja II)
	Mallinnetaan näkyviin jäävät osat kaikissa kohteissa. Laaditaan pintamalli.
	Mallinnetaan osat kokonaisuudessaan kaikissa kohteissa. Laaditaan tilavuusmalli. (vrt. tie- ja ratasuunnittelun tarkkuus)
	Mallinnetaan osat kokonaisuudessaan kaikissa kohteissa. Täydellinen kuvaus rakenteesta. (vrt. Rakennussuunnittelun tarkkuus)

**Kuva 40. Taitorakenteiden mallinnusvaatimuksia eri suunnitteluvaiheissa (Liikennevirasto 2014c, Liite 2).**

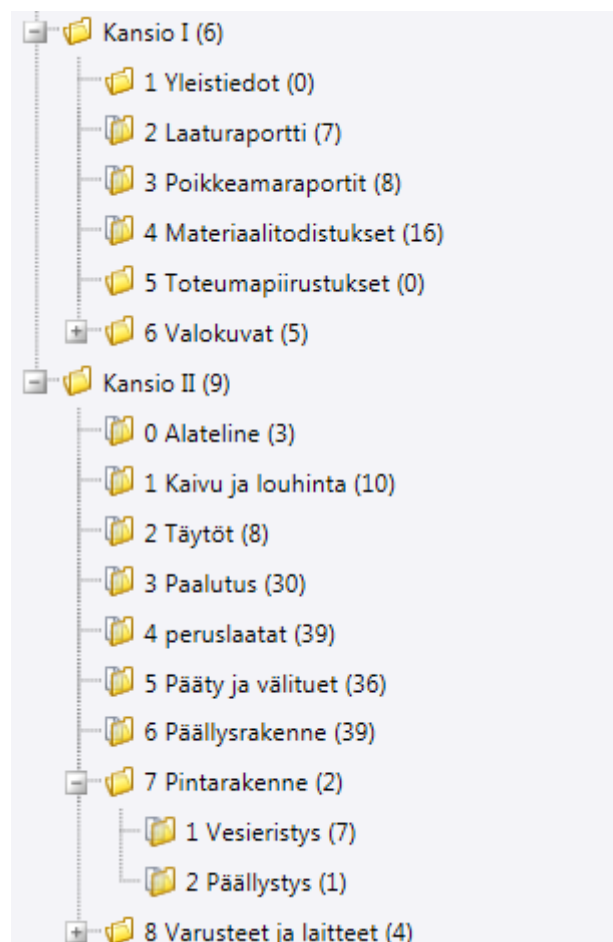
Jos olemassa oleville silloille tehdään suunnittelua vaativia toimenpiteitä, tarvitaan kyseisen rakenteen ja sen kuntotiedot lähtötietona. Alkuperäiset suunnitelmat ovat yleensä lähtötietoina ja tarkemmittauksilla varmistetaan rakenteen todelliset mitat. Esi- ja yleis-suunnitteluvaiheessa tarvitaan tieto nykyisen sillan leveydestä ja aukkumitoista. Näiden tietojen avulla pystytään selvittämään, mitä muutostarpeita väylätoimenpiteet aiheuttavat sillalle. Kunnan ja kantavuuden arvioinnit voidaan tehdä yleistarkastusten, sillan iän, rakenteen, suunnittelukuormien sekä rasitusolosuhteiden perusteella. Tie- ja rata-suunnitteluvaiheessa tehdään siltasuunnitelmat, jolloin sillalle teetätetään erikoistarkastus sekä tarpeen vaatiessa muita tutkimuksia. Lähtötietoina tarvitaan erikoistarkastusraportti, muut kunto-, kantavuus-, vaurio- tai toimenpideselvitykset sekä siltojen alkuperäiset suunnitelmätiedot. Rakennus- ja korjaussuunnitteluvaiheessa laaditaan yksityiskohtaiset rakennussuunnitelma-asiakirjat. (Liikennevirasto 2014d, s. 33–34.) Liitteessä 1 on esitetty lähtötiedot suunniteltaessa toimenpiteitä olemassa oleviin rakenteisiin. Toimenpide voi olla esimerkiksi sillan vahventaminen tai leventäminen.

Lähtötietoaineiston tilasta ja sisällöstä laaditaan lähtötietoselostus (Liikennevirasto 2014d, s. 48). Tietomallin yhteyteen lisätään luovutuksen yhteydessä aina tietomalliselostus, josta selviää tietomallin tilanne luovutushetkellä. Selostuksessa kuvataan millä ohjelmistoilla eri tekniikkalajien mallit ovat tehty ja asettavatko nämä rajoituksia esimerkiksi tiedonsiirtoon liittyen. Selostus sisältää kaikki mallin käyttöön ja luotettavuuteen liittyvät seikat esimerkiksi mallin poikkeamista sovittuun nähden. Selostuksesta selviää myös nimeämis- ja numerointikäytäntö, käytetty koordinaatisto sekä rakenteiden mallinnustarkkuus. (buildingSMART Finland 2015b, s. 14.)

## 5.5 Sillan rakentamisen tietosisältö

Urakoitsija laatii tuotantosuunnitelmat työn toteutusta varten. Liikenneviraston Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset –ohjeessa on määritetty, että työsuunnitelmiin

kuuluvat muun muassa laatusuunnitelmat, tekniset työsuunnitelmat, työmaan aluesuunnitelma, tie- ja siltatöiden yhteensovittamissuunnitelma, liikenteenohjaussuunnitelma, työturvallisuussuunnitelma ja ympäristönsuunnitelma. Jos toteutus ei vastaa suunnitelma-asiakirjoja, tulee tilaajan hyväksyä suunnitelmamuutokset. (Tiehallinto 2005a, s. 15.) Urakoitsijan täytyy osoittaa tilaajalle, että sillan rakennus- ja korjaustyö toteutetaan vaatimusten mukaisesti. Osoittaakseen tämän, urakoitsija laatii jokaisesta siltatyöstä laaturaportin. Laaturaportti palvelee sillan käytön, hoidon ja ylläpidon aikana. Laaturaporttiin kirjataan sillan sijainti, päämitat, tiedot käytetyistä materiaaleista, varusteista ja laitteista sekä tieto siitä, että täyttääkö työ, sen osat ja käytetyt materiaalit niille asetetut vaatimukset. (Tiehallinto 2006, s. 9.) Työmaalla kerätään toteutuneet materiaalit rakennneosittain (materiaalitodistukset sekä tarkastus- ja olosuhteraportit) ja laadun seurannan mittaustulokset (mittausraportit). Tilajalle luovutetaan laatudokumentit, poikkeamat ja toteumat. (Liikennevirasto 2014d, s. 32.) Kuvassa 41 on esitetty esimerkki rakennushankkeen rakentamisvaiheen tiedonhallinnasta, missä vaaditut dokumentit ovat esitettyinä. Laatudokumentit voivat sisältää muun muassa laadunvarmistussuunnitelman, laaturaportteja, itselleluovutus raportteja sekä tarkastuspöytäkirjoja.



**Kuva 41. Esimerkki rakennushankkeen rakentamisvaiheen tiedonhallinnasta.**

Sillan kolmiulotteista tietomallia voidaan hyödyntää myös rakentamisvaiheessa. Mallin avulla kohteeseen tutustuminen on helpompaa. Mallin avulla pystytään tekemään työsuunnittelua esimerkiksi määrittämällä eri osille aikataulutietoja. Tuotemallin pohjalta pystytään tuottamaan määräluetteloita. Malliin voidaan päivittää esimerkiksi työnaikaisia rakenteita tai muutoksia. Päivitysten myötä syntynyttä mallia kutsutaan toteumamalli-

liksi. Urakoitsija vastaa toteumamallin tuottamisesta. Toteumamallia voidaan hyödyntää laadunvarmistuksessa. Suunnitelmia ja toteutumia vertaamalla voidaan määrittää poikkeamia ja mahdollisia toleranssiylityksiä. Toteumamalli voidaan muodostaa esimerkiksi tarkemittausten tai laserkeilauksen avulla. Toteumamalli luovutetaan tilaajalle laatuodokumenttien mukana. Toteumatiedot ovat ylläpidon lähtötietoja. (Liikennevirasto 2014c, s. 32 & 35)



## 6 Ylläpitomalli

### 6.1 Ylläpitomallin tietosisältöjen tarkkuustasot

Tämän työn tavoitteena on kehittää tarkkuustasoehdotukset Liikenneviraston ylläpitomallille. Uusista rakenteista pystytään viemään Taitorakennerekisteriin kaikki ne tiedot, jotka ovat määritetty sinne vietäväksi. Tavoitteena uusien siltöjen tietosisällön osalta on tässä luvussa esitetty tarkin LoD4 –taso. Olemassa olevien rakenteiden tieto ei ole yhtä helposti saatavilla kuin uusien rakenteiden. Rakenteiden nykytila on luultavasti muuttunut suunnitelma- ja rakentamisasiakirjoista, mikä tekee lähtötietojen hankkimisesta hankalampaa. Koska jokaisesta sillasta ei ole välttämättä järkevää tallentaa tarkkaa tietoa Taitorakennerekisteriin, tulee määritellä mitä tietoja olemassa olevien rakenteiden osalta Taitorakennerekisteriin viedään.

Ylläpitomalli pitää pystyä tuottamaan tehokkaasti ja yksinkertaisesti olemassa olevan aineiston pohjalta. Tarkkuustasoehdotusten lähtökohtina käytetään aiempia määritelmiä LoD –tasoista, käyttäjien vaatimuksia, Taitorakennerekisterin rakennekuvausta ja Liikenneviraston sillan suunnittelun ja toteutuksen tietosisältöä. Sillan suunnittelun ja rakentamisen tietosisällöt ovat lähtötietoina ylläpidossa. Kuvassa 42 on esitetty ylläpitomalli omaisuuden hallinnassa eri käytötapausten kautta. Kuvassa esitetään ylläpitomallin tavoite. Tavoitteena on, että tieto liikkuu ja on saatavilla eri osapuolilla. Ylläpitomalli toimii näiden käytötapausten tiedonsiirto- ja säilytyspaikkana. Tarkkuustasojen lähtökohtana ylläpitomallille on, että matalin tarkkuustaso on Taitorakennerekisterin nykyisin sisältämä tieto. Seuraavalla tarkkuustasolla on Taitorakennerekisterin rakennekuvausten tiedot. Minimivaatimukset ylläpitomallille ovat kuitenkin korkeammat kuin pelkkä Taitorakennerekisterin rakennekuvaus. Tarkimmalla tasolla viedään uusien siltöjen tietoja Taitorakennerekisteriin. Tarkinta tasoa on haastavaa määritellä tarkasti, koska tietoa on paljon. Tietoa tulee siten luokitella ja priorisoida, jotta suuren tietomäärän hallinta onnistuu ja työmäärä on tiedon syöttämisen osalta järkevää ja tiedon löytäminen on helppoa ja loogista.



**Kuva 42. Ylläpitomallin käyttötapaukset (kuvat: Liikennevirasto 2016a, s. 1; Liikennevirasto 2017a; Liikennevirasto 2017f; kuvat, ja kaavio muokattu lähteestä: Sito Oy 2017).**

Yhdysvalloissa kehitettyjen ja kaupunkimallien LoD –luokittelu tarkkuustasojen jakoa voisi soveltaa myös Liikenneviraston ylläpitomallin tarkkuustasoksi. Yhdysvalloissa kehitetyt LoD –tasot ovat pelkälle komponentille, kun taas CityGML kaupunkimallien LoD –tasot ovat esimerkiksi kokonaiselle rakennukselle. CityGML –standardin määrittelyt ovat lähinnä kolmiulotteiselle mallille, eikä tiedolle. Molemmat määrittelyt ovat tehty erityisesti rakennuksille. Siltojen kohdalla tiedon tarkkuustasojen määrittelyjen on oltava erilaiset. Esimerkiksi CityGML:n LoD3 –taso sisältää ikkunat ja ovet, siltojen osalta tämä voisi kuvata esimerkiksi varusteita. LoD4 –tasolla on kuvattu myös rakennusten sisätilat, silloilla voitaisiin tällöin kuvata rakenteiden sisällä olevat komponentit kuten raudoitukset. Ehdotuksessa esitetyt tarkkuustasot etenevät hieman eri tavalla kuin kaupunkimallien LoD –tasot, esimerkiksi tarkkuustasoehdotusten LoD0 –tasolla on jo enemmän tietoa, kuin kaupunkimallien tasolla ja raudoitusten tiedot ovat esitettynä jo matalammalla tasolla. Ylläpitomallille ei tarvitse välttämättä määritellä matalimmaksi tasoksi rakenteen olemassaoloa, vaan ne tiedot mitkä ovat tällä hetkellä olemassa jo kaikista silloista. Tämän vuoksi ylläpitomallin tarkkuustasot etenevät hieman eri tavalla.

Tarkkuustasojen vaatimuksia tulee verrata myös saatavilla oleviin tietoihin, koska ylläpitomalli tulee pystyä tuottamaan tehokkaasti olemassa olevien aineistojen pohjalta. Silloista on jo olemassa perustiedot Taitorakennerekisterissä ja suurimmasta osasta silloista on olemassa myös piirustukset sekä kuvia. Tämän hetkisin tiedoilla tiedetään esimerkiksi rakenteen perusmittoja kuten kokonaispituudet ja hyödylliset leveydet. Rakennekuvauksien myötä tiedon määrä kasvaa Taitorakennerekisterissä. Vauriot ovat nykyään rakenneosien ominaisuuksia. Tällä hetkellä Liikennevirastossa määritetään rakennekuvauksien tarkkuustasoja olemassa oleville silloille eli esimerkiksi sitä, mitä tietoja lähivuosien yleistarkastuksissa tullaan lisäämään Taitorakennerekisteriin. Liikenneviraston inventointi –ohje tullaan päivittämään, jotta se vastaa rakennekuvauksen määritelmiä. Rakennekuvauksen pohjat luodaan massa-ajojen avulla siltatyypin mukaisesti sekä lisätään aluksi yleispiirustuksissa olevat tiedot käsin. Rakennekuvauksien päivittymisen myötä ylläpitomallissa pystytään pääsemään jo tarkemmalle tasolle. Tar-

kimpia malleja varten tarvitaan jonkinlainen menetelmä nykytilan määrittämiseksi, esimerkiksi luokiteltu laserkeilausaineisto tai tarkemittausten avulla tuotettu ylläpitomalli. Saatavilla oleva tieto voidaan jakaa eri luokkiin, joilla on eri tarkkuustaso ja joiden mukaan tarkkuustaso luokittelu tehdään. Esimerkiksi lähtötietona voi olla kartta, Taitorakennerekisterin rakennekuvaus, sillan piirustukset tai luokiteltu laserkeilausaineisto silta-apaikasta, joista laserkeilausaineisto on tarkimman ja kartta matalimman tarkkuustason lähtötieto.

Haastatteluiden perusteella omistajataho tarvitsee tarkinta tietoa kohteesta omaisuuden hallintaa varten. Omistajan kannalta tietotarpeita on vaikea ennustaa vuosien päähän. Tiedon lisääntymisen ja tietomallimuotoisen tiedon säilyttämisen avulla pyritään ylläpidon ohjelmoinnin automatisointiin. Kolmiulotteisen mallin visuaalisuus auttaa omistajatahoa päätöksenteossa. Tarkastajille kolmiulotteisesta mallista on erityisesti hyötyä erikoistarkastuksissa. Ylläpitomallin tarkkuustasovaatimukset vaihtelevat eri tarkastusten välillä, vuositarkastuksessa tarvitaan vähiten tietoja, yleistarkastuksessa ja laajennetussa yleistarkastuksessa enemmän ja erikoistarkastuksessa eniten. Esimerkiksi silmä määräistä yleistarkastusta suoritettaessa ei tarvita kovin tarkkaa tietoa sillasta. Yksinkertaisesta kolmiulotteisesta mallista on hyötyä jo vaurioiden sijoittamisessa oikeaan kohtaan ja vaurioiden laajuuden arvioinnissa. Korjaussuunnittelussa tarvitaan joka tapauksessa tarkat mittaukset rakenteiden nykytilasta. Kolmiulotteinen ylläpitomalli pitää olla melko tarkka, jos tehdään korjaussuunnittelua pelkästään kolmiulotteinen tietomalli lähtötietona. Korjaussuunnittelussa tarvitaan kohteesta tarkemittaukset lähtötiedoiksi, jotta tiedetään, millainen rakenteen nykytila on. Kun tehdään pienempiä ylläpitokorjauksia ilman korjaussuunnitelmia, on kolmiulotteisesta ylläpitomallista hyötyä. Ylläpito- tai korjaustöiden suunnittelussa kolmiulotteisesta mallista on hyötyä, kun suunnitellaan, miten erikoistarkastuksissa tarvittavat nostolaitteet tai kiertotiet voidaan sijoittaa korjausten aikana.

Ylläpitomallille yksi haastatteluissa ehdotettu minimitaso oli Siltojen tietomalliohjeen suunnitteluvaiheen vaatimuksia vastaava rata- tai tiesuunnitelmavaiheen tarkkuus. Tarkinta tasoa ylläpitomallille ei tarvitsisi tehdä ollenkaan. Raudoituksien tiedot on kuitenkin hyvä saada jossain vaiheessa ylläpitomalleihin. Ylläpitokorjauksissa korjattua osasta tarvitaan raudoituksien tietoja esimerkiksi tartuntoja ja ankkurointeja varten. Myös seuraavaa ehdotettiin rakenneosien geometrian tarkkuustasoiksi: 1. tilavaraus, 2. pääraakenneosat, 3. kaikkien rakenneosien mitat ja 4. rakenteen rauditus. Yksi ehdotus oli, että matalin taso olisi Taitorakennerekisterin rakennekuvaus ja tarkimman tason malleja tehtäisiin erikoistarkastusvaiheessa. Välitarkkuustasojen malleja ei olisi järkevää laatia. Myös pohdittiin, että tekeekö yksinkertaisella kolmiulotteisella mallilla mitään. Toisaalta Taitorakennerekisterin myötä ylläpitomallin tietotarpeet vähenivät, kun Siltarekisterin aikaan vaatimukset olisivat olleet korkeammat. Tietoa ei kannata kuitenkaan missään vaiheessa hävittää. Tietomallipohjaisesti suunnittelun sillan ylläpitomallista ei kannata jättää pois mitään tietoja, kun tieto on määritelty ja sille löytyy paikka.

Yhdysvaltojen LoD –tasot kuvaavat yhden komponentin tarkkuustasoa ja kaupunkimallien tarkkuustaso kuvaa koko mallia. Liikenneviraston siltojen ylläpitomallin tarkkuustaso voisi kuvata koko tietomallia, joka on jaoteltu muutamaaan alakategoriaan. Käytännössä tietomalli tulee sisältämään eri tarkkuustason objekteja ja tietoja, mutta tarkkuustasoluokittelun selventämiseksi tarkkuustasoja on helpoin kuvata koko mallin tasolla. Tarkkuustasoja voi myös olla kahdenlaisia; tietoja, joita tarvitaan aikaisemmin kuin muiden osien tietoja, esimerkiksi kantavien rakenteiden geometrian tietoja voidaan tarvita aiemmin kuin muiden rakenteiden geometrian tietoja. Sen lisäksi jokaisella raken-

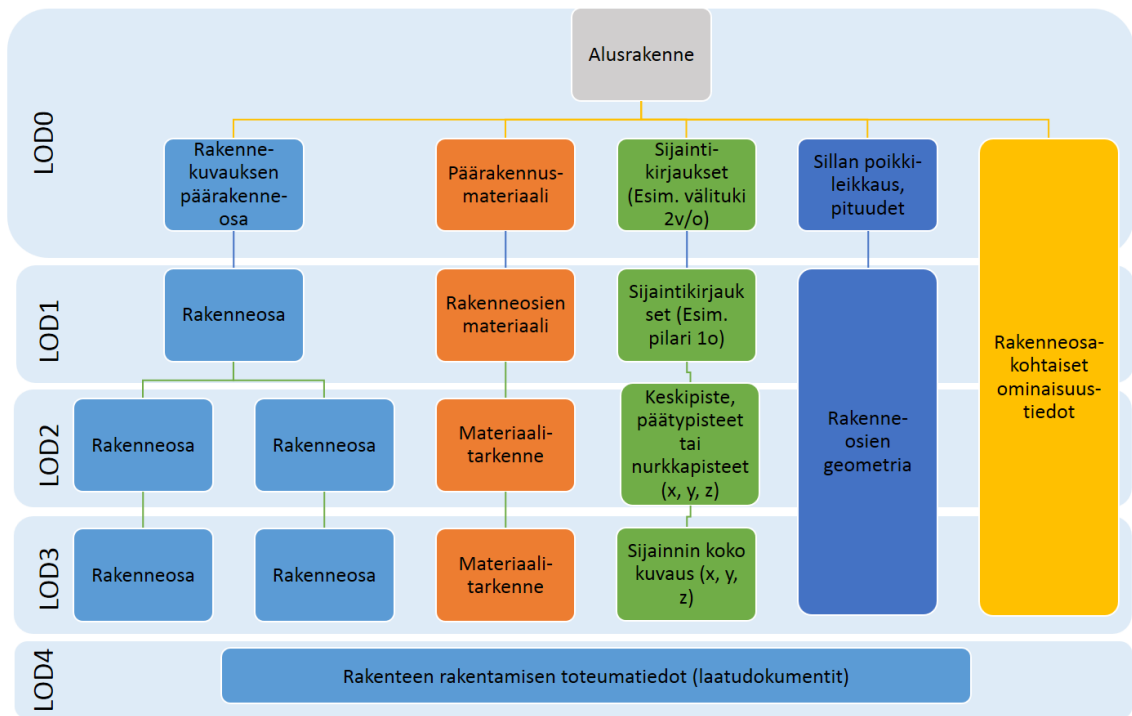
neosalla on eri ominaisuustietoja esimerkiksi geometriasta tai materiaalista. Näillä ominaisuustiedoilla on myös omat tarkkuustasonsa, esimerkiksi materiaalista voidaan tietää päärakennusmateriaali, betonin lujuus tai betonin pakkasenkestävyys. Vaikka palkin geometrian tieto on tarkka, materiaalin tiedot eivät välttämättä ole tarkkoja. Tavallaan eri tarkkuustasojen sisällä on useita tarkkuustasoja. Ehdotuksena on, että pyritään tiettyyn ylläpitomallin tarkkuustasoon, joka ohjeistaa mitä tietoja ylläpitomalliin lisätään. Rakennekuvauksien päärakenneosien tarkkuustasojen avulla voidaan määritellä koko ylläpitomallin tarkkuustaso suurin piirtein. Käytännössä tarkkuustasoja on hankalaa saada täysin yhteneväiseksi. Jos saatavilla olevia tietoja on paljon, ei samalla työmäärällä tuotettuja tietoja kannata karsia. Lähtökohtaisesti Liikenneviraston ylläpitomallin tarkkuustasoja lähdetään vertaamaan Taitorakennerekisterin rakennekuvaukseen. Tarkkuustasoihin vaikuttaa myös se, onko tieto helposti saatavilla vai ei. Jos tieto on helposti saatavilla, voi tieto olla luokiteltuna matalammalla tasolla.

## **6.2 Tarkkuustasoehdotukset**

Matalimmalla tarkkuustasolla on esitetty pelkästään rakennekuvauksen hierarkian ylimmät tasot. Näihin kuuluvat silta ja sillan päärakenneosat: alusrakenteet, päällysrakenne, pintarakenne, varusteet ja laitteet sekä siltapaikka (ympäristö). Käytännössä alin tarkkuustaso vastaa Taitorakennerekisterin sisältöä ja tietoja, joita voidaan generoida automaattisesti. Päärakenneosien eri ominaisuustiedot ovat jaettu eri kategorioihin: materiaaliin, sijaintiin, geometriaan ja rakenneosakohtaisiin ominaisuustietoihin. Eri kategorioilla on omat tarkkuustasonsa. LoD1 –tarkkuustaso käsittää käytännössä Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen tiedot. LoD2 –tasolla rakenneosat voidaan jakaa pienempiin osiin eli esimerkiksi teräsbetoninen palkki sisältää palkkiin ja raudoituksiin. Tarkkuustason ominaisuustiedot päivittyvät näille kummallekin rakenneosalle. Jos ominaisuustieto on vasta LoD3 –tasolla, tarkoitetaan sillä myös sitä, että matalamman tiedon tason muut rakenneosat saavat myös tämän ominaisuustiedon. Tarkimmalla LoD4 –tasolla on kuvattu rakenteen rakentamisaikaiset toteumat, eli minkälainen rakenne on rakennettu, mikä on sen ja sen rakenneosien tarkat mitat, muodot, sijainnit, materiaaliominaisuudet. Rakenne on toteutettu suunnitelmien mukaan, jos rakenne on toleranssien sisällä, tällöin LoD4 –tasolla on todettu, että rakenne on suunnitelmien mukainen. Tarkimman tason mukaisia tietoja on pääosin saatavilla uusien siltojen osalta.

Geometrian matalimmalla tarkkuustasolla on esitetty sillan poikkileikkaus ja pituudet, joiden tiedot ovat lähes jokaisesta sillasta jo Taitorakennerekisterissä. Geometrian tarkkuustasoilla on esitetty aina kyseisen rakenneosan geometria. Materiaalin osalta matalin taso on sillan eri osien materiaalit, esimerkiksi teräsbetoninen kansi ja teräksiset palkit. Materiaaliominaisuudet tarkentuvat tarkemmille tarkkuustasoilla edetessä materiaalitarkenteella. Matalimmalla tasolla tiedetään myös Taitorakennerekisterin mukaisesti sillan sijainti koordinaateissa. LoD1 –tasolla rakenneosien sijainnit ovat merkittynä Liikenneviraston Sillantarkastuskäsikirjan vaurioiden sijainnin merkitsemisen mukaisesti. LoD2 –tasolla tiedetään rakenneosan keskipiste, päätypisteet tai nurkkapisteet koordinaateissa rakenneosasta. LoD3 –tasolla on esitetty sijainnin koko kuvaus koordinaateissa. Jotta tarkat sijainnit voidaan määrittää, tulee tehdä esimerkiksi tarkemmittaus ja laserkeilaus kohteelle. Rakenneosakohtaiset ominaisuustiedot ovat kullekin rakenneosalle ominaisia tietoja, joilla on omat tarkkuustasonsa. Tarkkuustasot etenevät käytännössä eri ominaisuuksien mukaisesti. Tarkkuustasojen luokittelut vaihtelevat eri päärakenneosien välillä, koska Taitorakennerekisterissä on tietoa eri rakenneosista enemmän kuin toisista. Seuraavissa kappaleissa on esitetty esimerkkejä tarkkuustasoehdotuksia tavanomaisista siltarakenteista, joita esiintyy yleisimmissä siltatyypeissä kuten teräsbetonisissa laatta- ja palkkisilloissa, teräspalkkisilloissa ja jännebetonisilloissa.

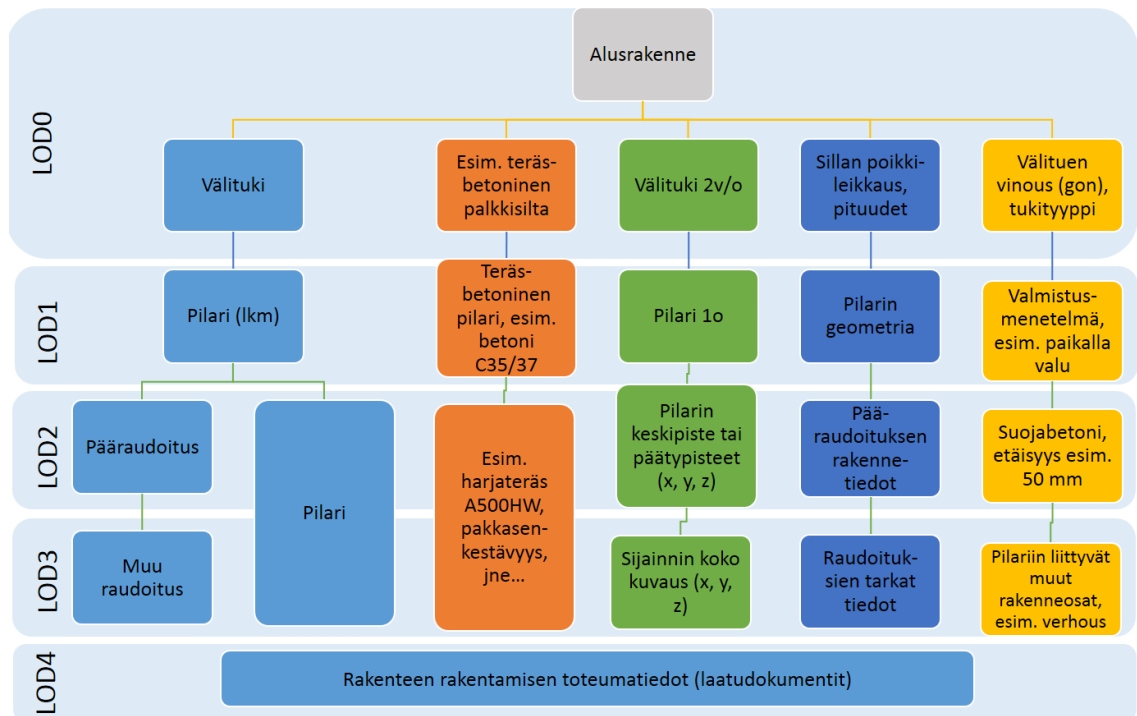
Kuvassa 43 on esitetty tarkkuustasoehdotukset rakennekuvauksen mukaisen pääraakenneosan alusrakenteen osalta. LoD0 –tasolla on kuvattuna tiedot, jotka ovat saatavilla Taitorakennerekisteristä. Alusrakenteeseen voi liittyä välituki tai päätytuki, jotka voidaan määrittää jänteiden lukumäärän perusteella. Sijainti määritetään Sillantarkastuskäsikirjan sijaintikirjausten mukaisesti esimerkiksi välituki 2 v/o. LoD1 –tasolla on rakennekuvauksen mukaiset tiedot rakenteesta. Seuraavissa kuvissa on esimerkkejä eri alusrakenteen rakenneosien tarkkuustasoista.



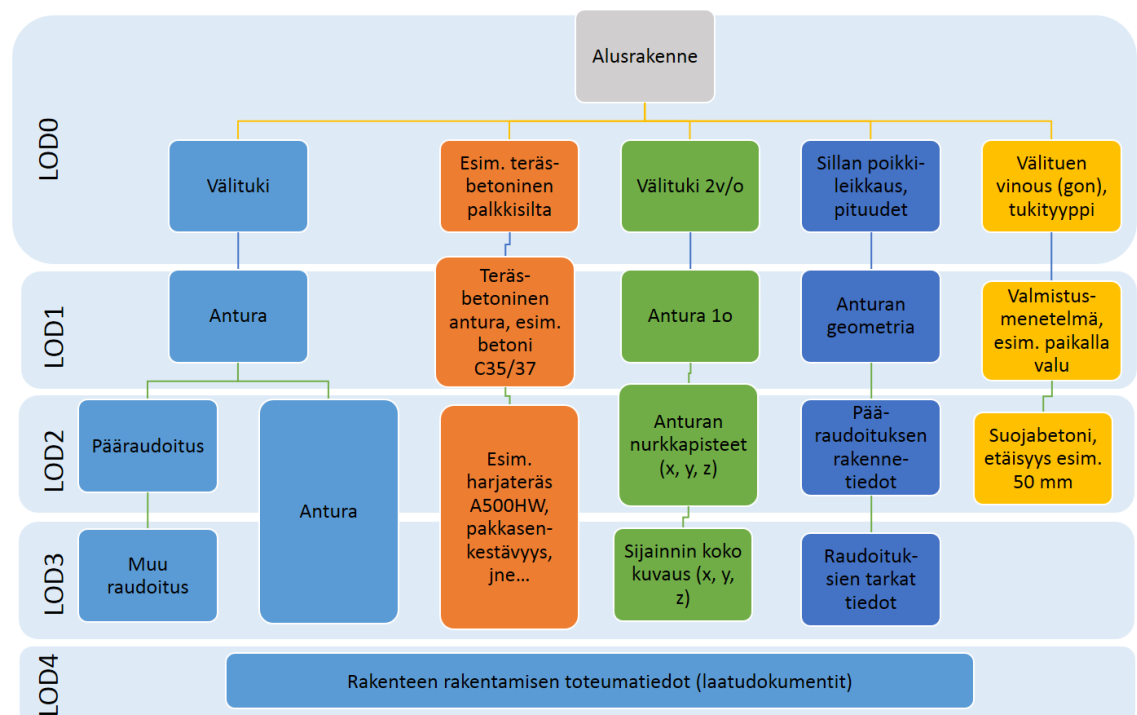
**Kuva 43. Rakennekuvauksen mukainen tarkkuustasoehdotus alusrakenteelle.**

Kuvassa 44 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista alusrakenteen pilarille. LoD0 –tasolla on määritetty vain välituen sijainti. Välituen ominaisuustietoja ovat välituen vinous ja tukityyppi. Pilari saa myös nämä ominaisuustiedot. LoD1 –tasolla tiedetään muun muassa pilareiden määrät, geometriat, materiaali sekä sijaintikirjauksien mukaiset sijainnit. Betonin lujuus on esitettyinä jo yleispiirustuksessa, joten betonin lujuus voidaan määrittää jo LoD1 –tasolla. LoD2 –tasolla pilari voidaan jakaa raudoitukseen ja itse pilariin, jotka molemmat saavat eri ominaisuustietoja. Esitettyinä on esimerkiksi harjateräksen lujuus, pilarin keskipiste tai pääty pisteet ja pääraudoituksen rakennetiedot kuten terästen halkaisijat ja lukumäärät poikkileikkauksessa. Pääraudoituksen avulla pystytään määrittämään rakenteen kestävyys ja sen pohjalta kantavuus jo melko tarkasti. Muilta osin voidaan pääsääntöisesti olettaa rakenteen kantavuuden vastaavan pääraudoituksen kapasiteettia. LoD3 –tasolla tiedetään muu raudoitus ja lisää materiaalitarkenteita. Materiaalitarkenteita voi olla useita, esimerkiksi betonista voidaan tietää lisäaineita tai muita tietoja. Koska materiaalilla on useita tarkkuustasoja, ei näissä ehdotuksissa ole eroteltu materiaaliominaisuuksien tasoja sen tarkemmin. LoD3 –tasolla sijaintitiedot ovat tarkat, joten lähtötietona voidaan tarvita esimerkiksi tarkemmittaukset. LoD3 –tasolla on määritetty myös pilariin muut liittyvät rakenneosat esimerkiksi pilarin verhous. Tarkimmalla LoD4 –tasolla on esitetty rakenteen toteumat. Kuvassa 45 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista alusrakenteen anturalle. Anturan osalta tarkkuustasot ovat samankaltaiset

kuin pilarilla. Anturan sijaintina LoD2 –tasolla ilmoitetaan nurkkapisteeet. Rakenneosakohtaiset ominaisuustiedot voivat vaihdella osien välillä.



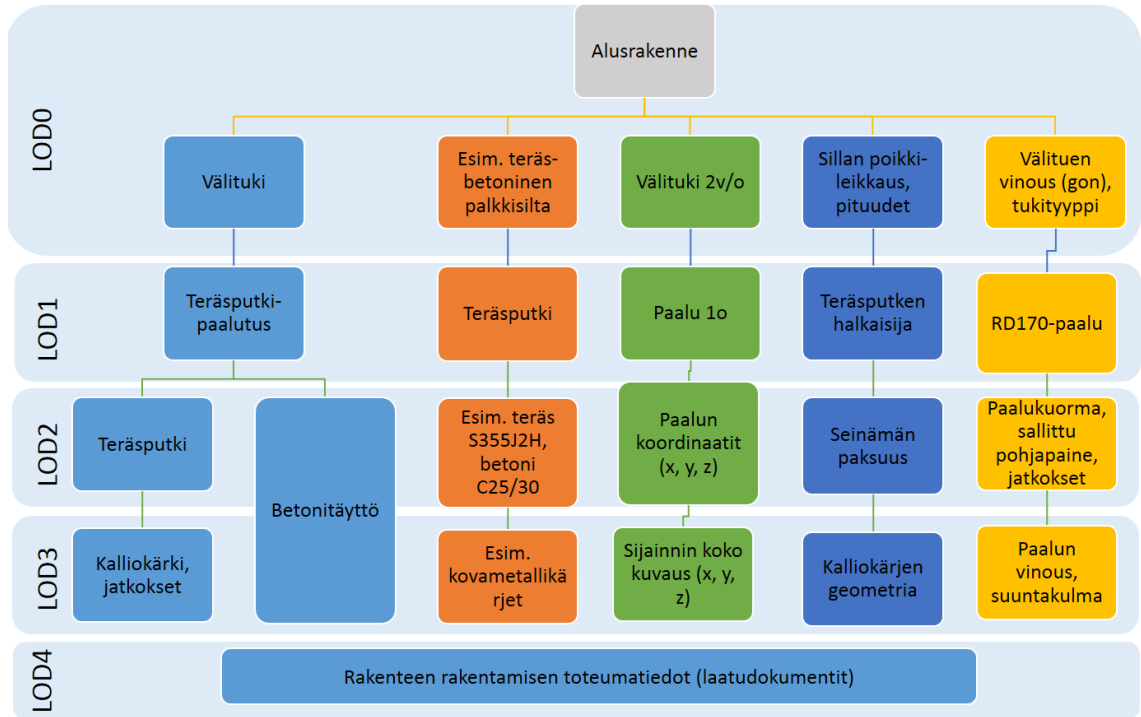
Kuva 44. Tarkkuustasoehdotuksen esimerkki alusrakenteen pilarille.



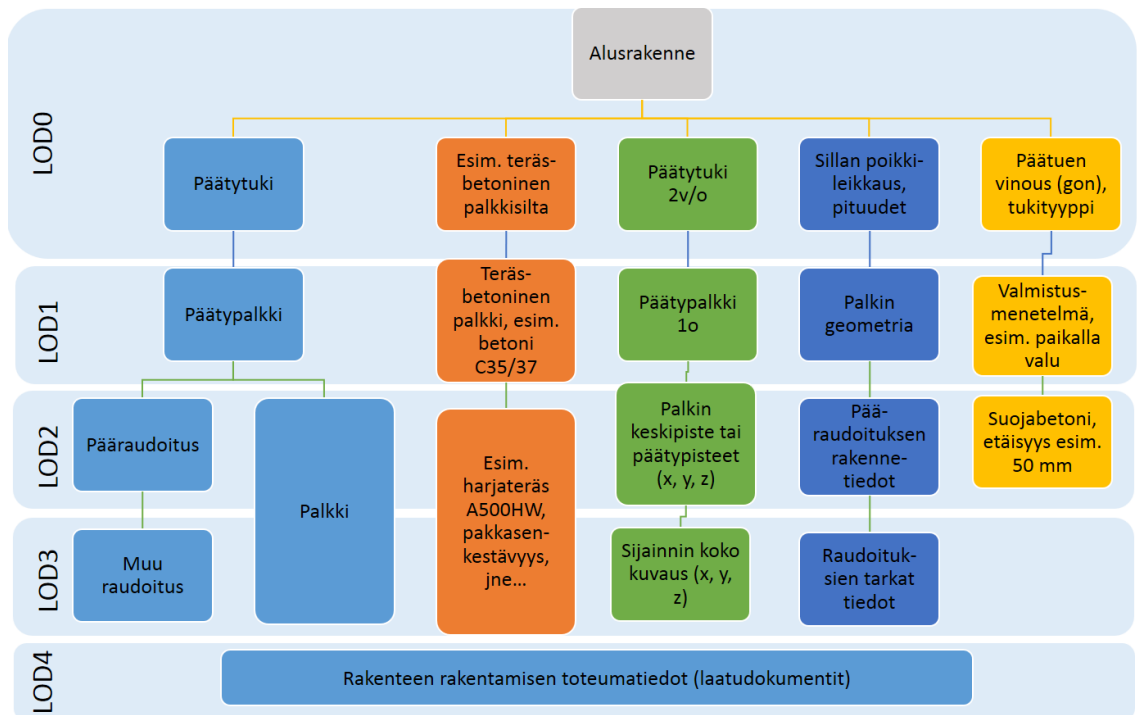
Kuva 45. Tarkkuustasoehdotuksen esimerkki alusrakenteen anturalle.

Kuvassa 46 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista teräsputkipaalulle. LoD0 –taso on vastaava kuin pilarilla ja anturalla. LoD1 –tasolla on määritetty esimerkiksi paalun tyyppi ja halkaisija. LoD2 –tasolla teräsputkipaalu voidaan jakaa teräsputkeen ja betonitäyttöön. Materiaalin ominaisuuksia ovat teräksen lujuus, betonin pakkasenkestävyys

ja sijaintina on määritetty paalukoordinaatit. Rakenneosakohtaisia ominaisuustietoja ovat esimerkiksi paalukuorma, sallittu pohjapaine ja jatkokset. LoD3 –tasolla on määritetty esimerkiksi kalliokärjet, paalun suuntakulma ja vinous. Kuvassa 47 on esitetty esimerkki päätytuen päätypalkin tarkkuustasoista. Tarkkuustasot ovat samankaltaiset kuin pilarilla ja anturalla.

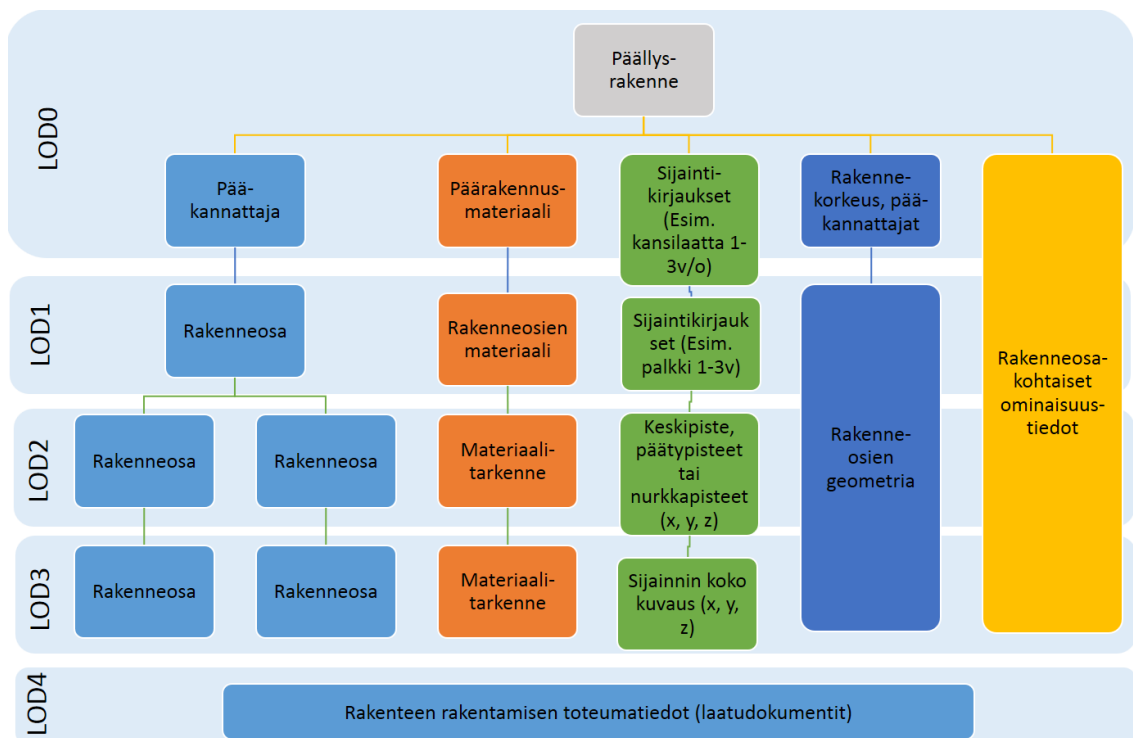


Kuva 46. Tarkkuustasoehdotuksen esimerkki alusrakenteen paalutukselle.



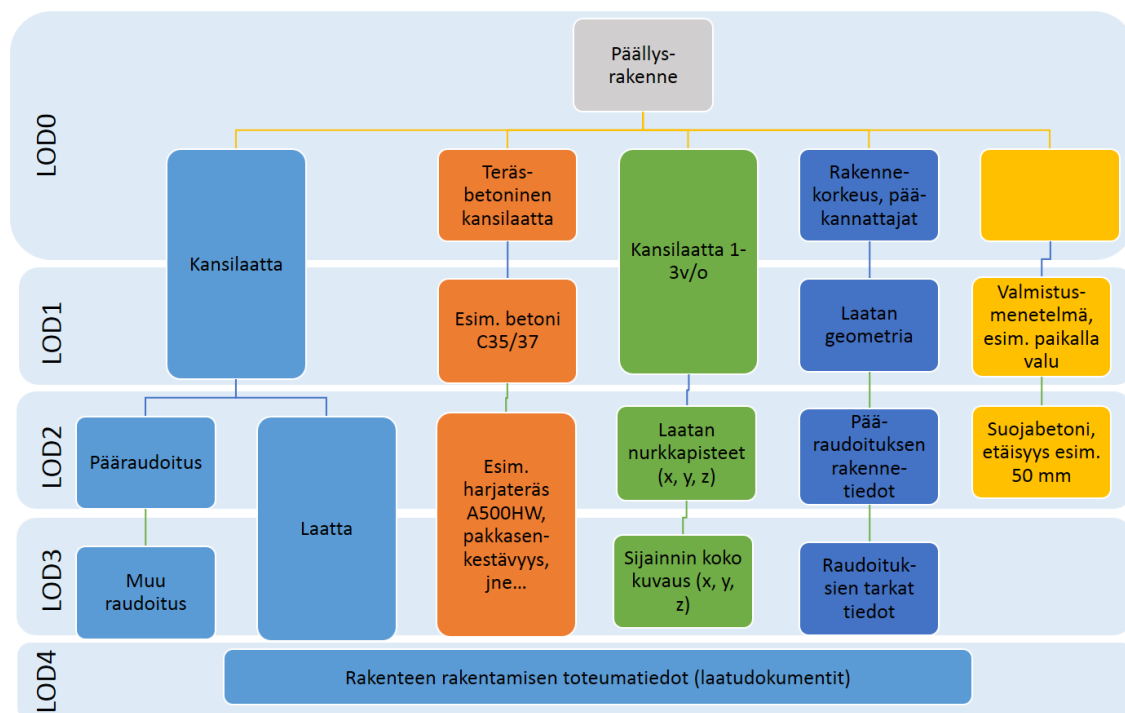
Kuva 47. Tarkkuustasoesimerkki alusrakenteen päätypalkille.

Kuvassa 48 on esitetty tarkkuustasoehdotukset rakennekuvauksen mukaisen pääraakenneosan päällysrakenteen osalta. Vastaavasti kuten alusrakenteen tarkkuustasojen mukaisesti LoD0 –tasolla on esitetty tiedot, jotka saadaan jo Taitorakennerekisteristä. Päällysrakenteessa on tavallaan yksi hierarkiataso vähemmän kuin alusrakenteessa. Alusrakenteessa on ensin esimerkiksi välituki ja sen jälkeen pilari, kun päällysrakenteessa on ensimmäiseksi esimerkiksi palkki tai kansilaatta, jotka eivät ole erikseen rakennekuvauksen kuntoarvioitavia pääraakenneosia. LoD0 –tasolla tiedetään kuitenkin, mikä on sillan pääkannattaja. Päällysrakenteen osalta tarkkuustasot vaihtelevat myös pää- ja sekundaarikannattajien välillä. Pääkannattajien tiedot ovat yleispiirustuksessa, mutta poikkipalkkien tiedot on esitetty tarkemmin mittapiirustuksissa. Palkkien ja kansilaattojen tarkkuustasot eroavat toisistaan, koska kansilaatta pystytään sijoittamaan oikeaan kohtaan, kun taas Taitorakennerekisterissä ei vielä ole tietoa esimerkiksi siitä, montako palkkia rakenteessa on. Näin ollen kansilaatalla on tavallaan yksi tarkkuustaso vähemmän kuin palkeilla, koska vasta LoD1 –tasolla tiedetään, montako palkkia rakenteessa on. Inventointien jälkeen Taitorakennerekisterissä pitäisi olla esimerkiksi pääkannattimien palkkien määrät, jotka joudutaan käsin lisäämään suunnitelmapiirustusten avulla. Kun pääkannattajan palkkien määrät ja koko tiedetään, pystytään sillan kantavuus määrittämään paremmin. Tavoitteena on, että LoD2 –tasolla pystytään määrittämään tavanomaisten siltatyypin kantavuus ja LoD3 –tasolla erikoisempien rakenteiden kantavuus. Päällysrakenteen osalta LoD1 –taso kuvaa myös rakennekuvauksen hierarkian ensimmäistä osaa ja LoD2 –, LoD3 – ja LoD4 –tasot tarkentuvat vastaavasti kuten alusrakenteella. Kuvassa 49 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista päällysrakenteen kansilaatalle, joka on pääkannattaja ja kuvassa 50 kansilaatalle, jolla on reunauloke. Tyhjien laatikoiden kohdalla ei muodostu uutta tietoa kyseisessä ominaisuudessa. Kansilaatan osalta näille kahdelle eri tapaukselle ei tule eroja tarkkuustasoissa.

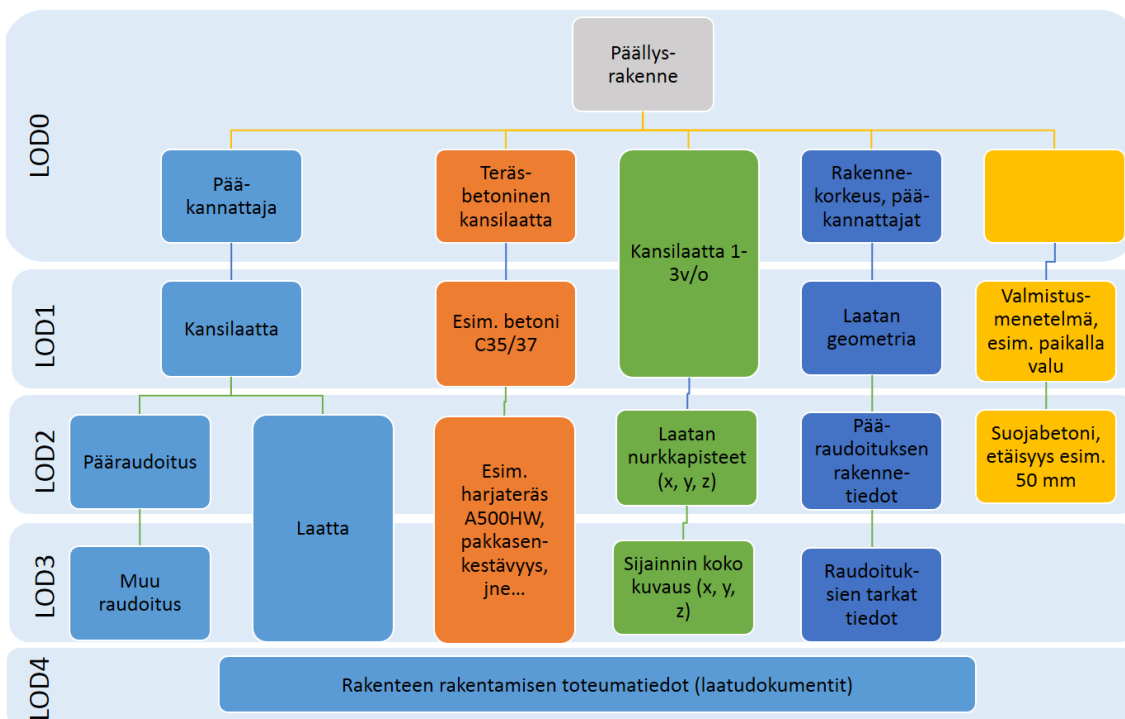


Kuva 48. Rakennekuvauksen mukainen tarkkuustasoehdotus päällysrakenteelle.





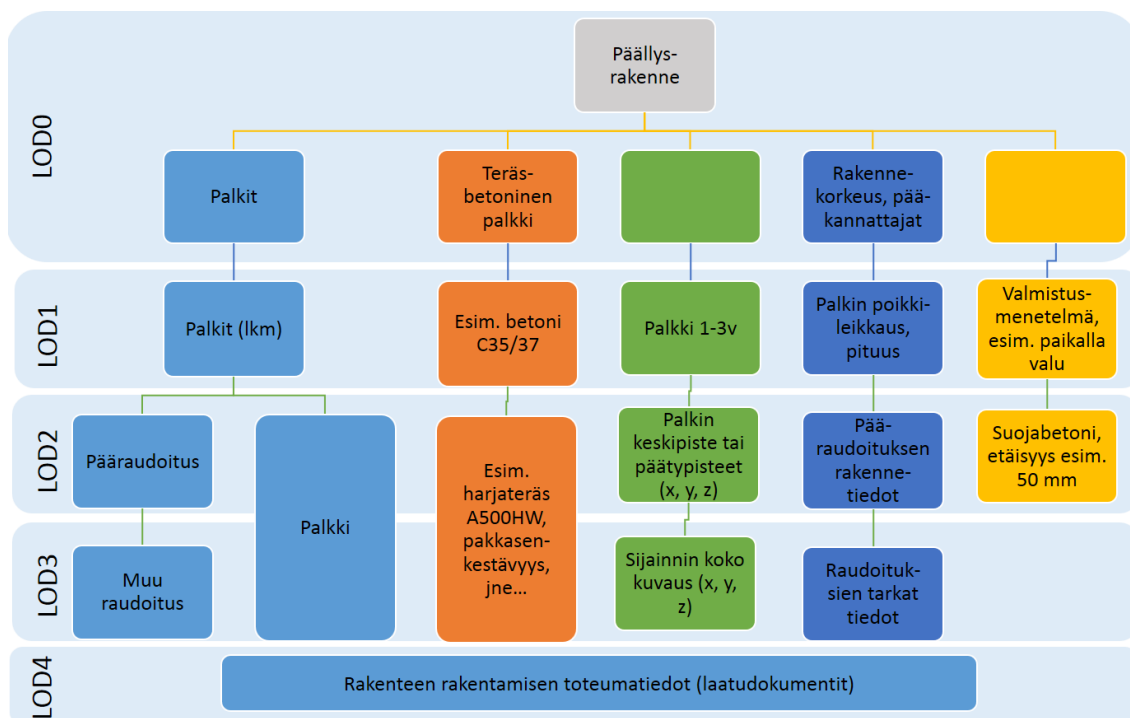
Kuva 49. Tarkkuustasoesimerkki päälyysrakenteen pääkannattajan kansilaatalle.



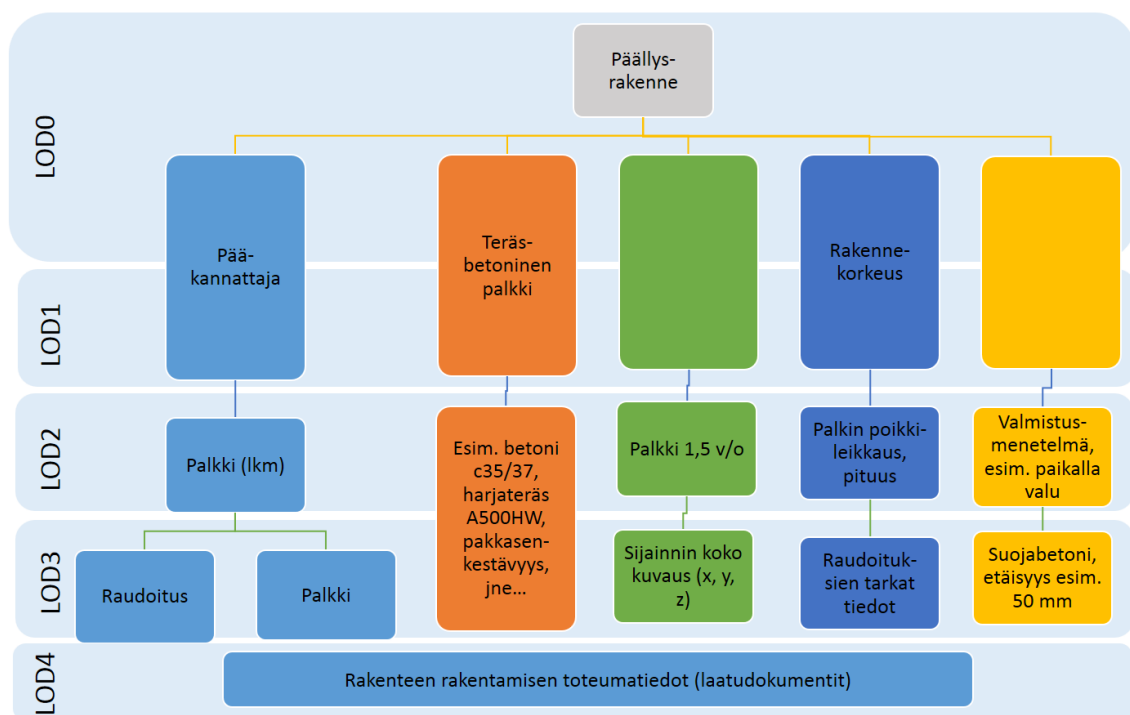
Kuva 50. Tarkkuustasoesimerkki päälyysrakenteen kansilaatalle (reunauloke).

Kuvassa 51 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista päälyysrakenteen pääkannattajan teräsbetoniselle palkille, jolla on samankaltaiset tarkkuustasot kuin teräsbetonisella alusrakenteella. Kuvassa 52 on esitetty tarkkuustasoesimerkki sekundääräkannattajan teräsbetoniselle palkille. Poikkipalkkien tarkkoja tietoja ei välttämättä ole esitetty yleispiirustuksessa, vaan ne on esitetty pelkästään palkkien mittapiirustuksissa. Tämän vuoksi

sekundäärikannattajan tiedot tarkentuvat vasta LoD2 –tasolla samalle tasolle kuin pääkannattajan tiedon LoD1 –taso. LoD0 – ja LoD1 –tasolla poikkipalkkeista ei tiedetä vielä juuri mitään. Tyhjien laatikoiden kohdalla ei muodostu uutta tietoa kyseisessä ominaisuudessa.

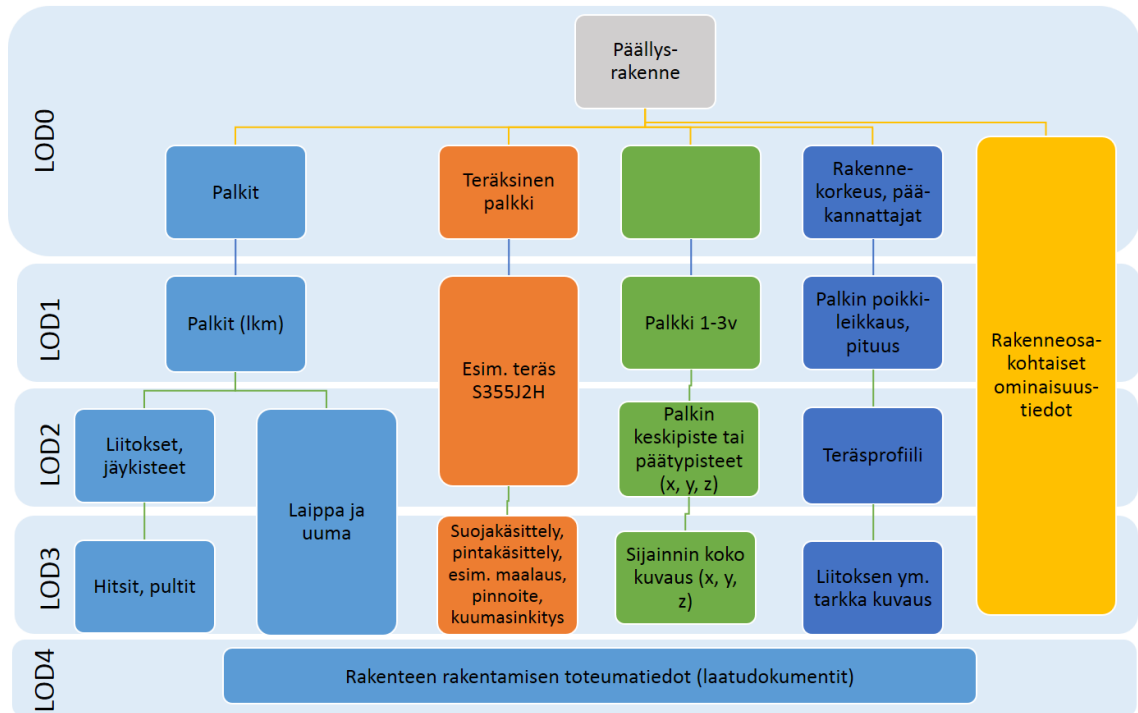


Kuva 51. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen pääkannattajan teräsbetoniselle palkille.

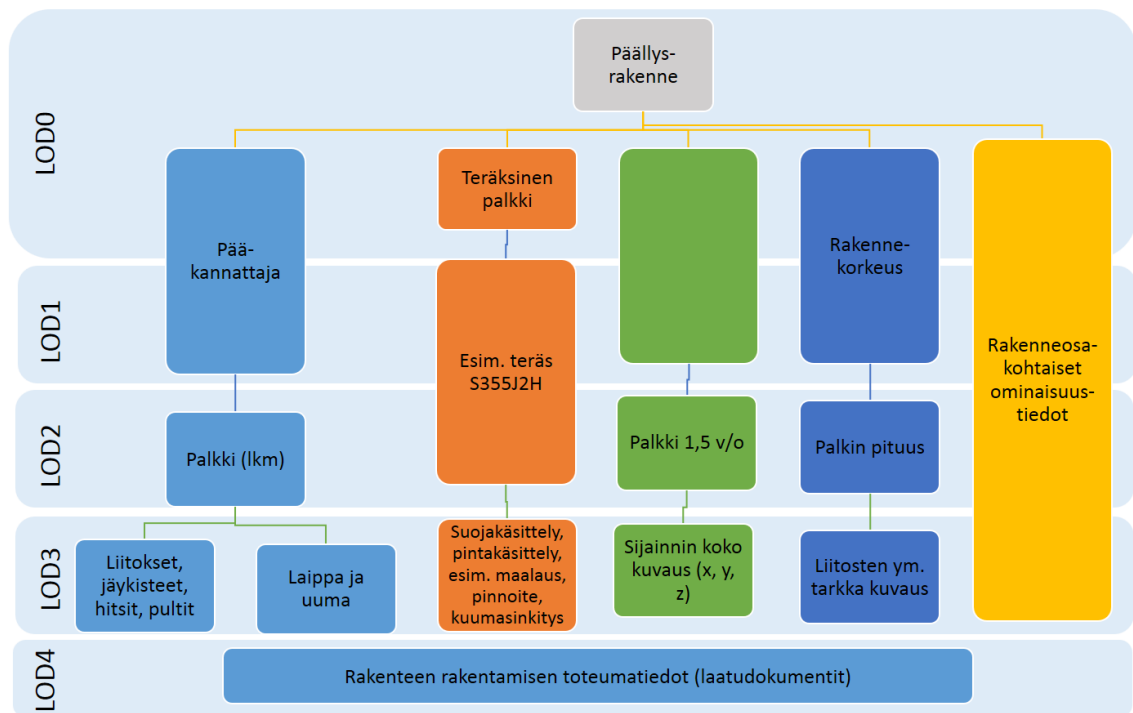


Kuva 52. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen sekundäärikannattajan teräsbetoniselle palkille.

Kuvassa 53 on esitetty esimerkki tarkkuustasoista päällysrakenteen pääkannattajan teräksiselle palkille. Teräksisen palkin tarkkuustasot eroavat betonisesta palkista siten, että LoD2 –tasolla palkki voidaan jakaa liitoksiin ja jäykisteisiin sekä laippaan ja uumaan. LoD3 –tasolla on määritetty hitsit ja pultit. Tyhjien laatikoiden kohdalla ei muodostu uutta tietoa kyseisessä ominaisuudessa. Teräksen materiaalitarkenteet etenevät siten, että LoD1 –tasolla tiedetään teräksen lujuus ja LoD3 –tasolla esimerkiksi pintakäsittely. Sekundäärikannattajien osalta tarkkuustasot eroavat pääkannattajasta samoin tavoin kuin teräsbetonisella palkilla. Sekundäärikannattajan tiedot tarkentuvat vasta LoD2 –tasolla (kuva 54).

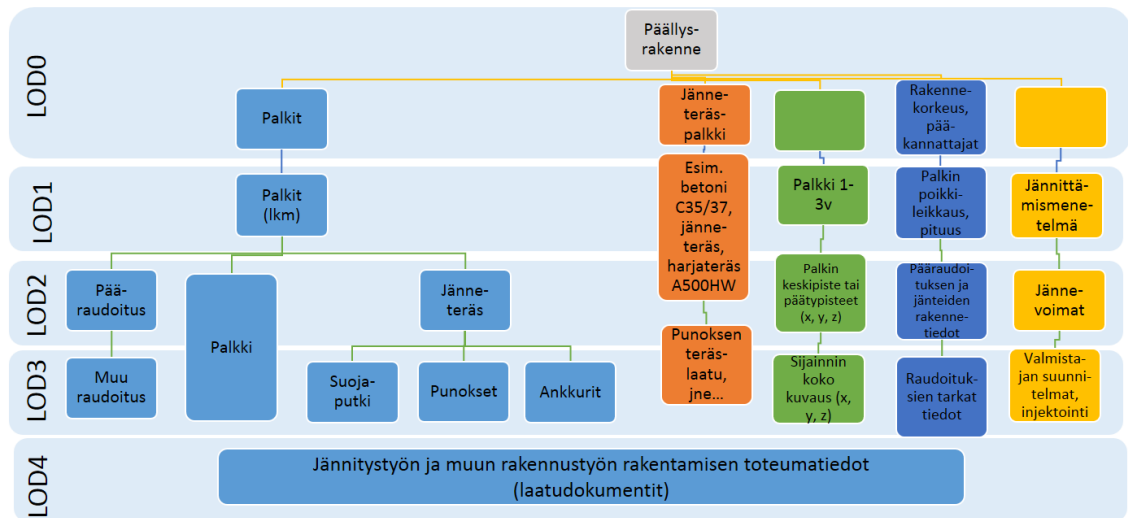


Kuva 53. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen pääkannattajan teräksiselle palkille.

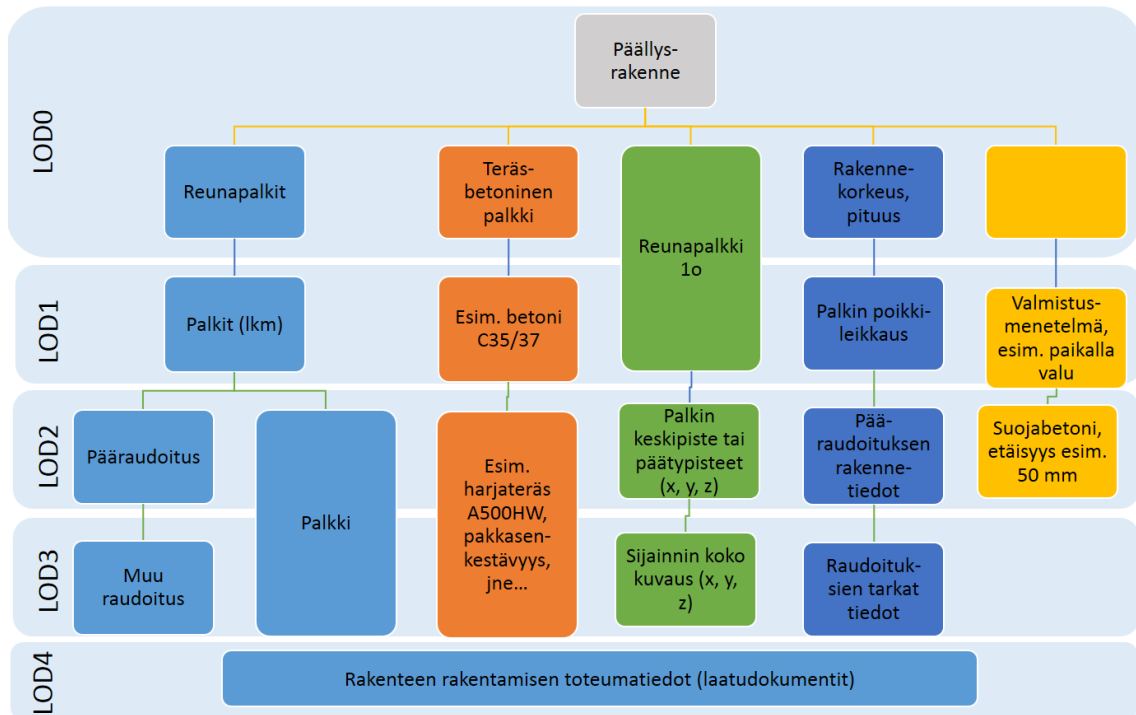


**Kuva 54. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen sekundääriskannattajan teräksiselle palkille.**

Kuvassa 55 on esitetty esimerkki jännebetonipalkin tarkkuustasoista. Jännebetonipalkilla LoD2 –tasolla palkki voidaan jakaa raudoitukseen, palkkiin sekä jänneteräkseen. Tasolla on esitetty myös jänteiden geometria. LoD3 –tasolla jänneteräs voidaan jakaa suojaputkeen, punoksiin ja ankkurointiin. Rakenneosakohtaisena ominaisuustietona jännebetonipalkilla on LoD1 –tasolla jännittämismenetelmä, LoD2 –tasolla jännevoimat ja LoD3 –tasolla valmistajan suunnitelmat ja injektointitiedot. Jännittämismenetelmä selviää jo yleispiirustuksesta, jännevoimat jännepiirustuksesta ja valmistajan suunnitelmat ovat erikseen. Rakennekohtaisten ominaisuustietojen tarkkuustasot etenevät siten suunnitelmien mukaisessa järjestyksessä. LoD4 –tasolla on esitetty muun muassa jännitystyön toteumat. Tyhjiä laatikoiden kohdalla ei muodostu uutta tietoa kyseisessä ominaisuudessa. Kuvassa 56 on esitetty esimerkki reunapalkin tarkkuustasoista. Sen tarkkuustasot etenevät kuten teräsbetonisen pääkannattajan palkin.

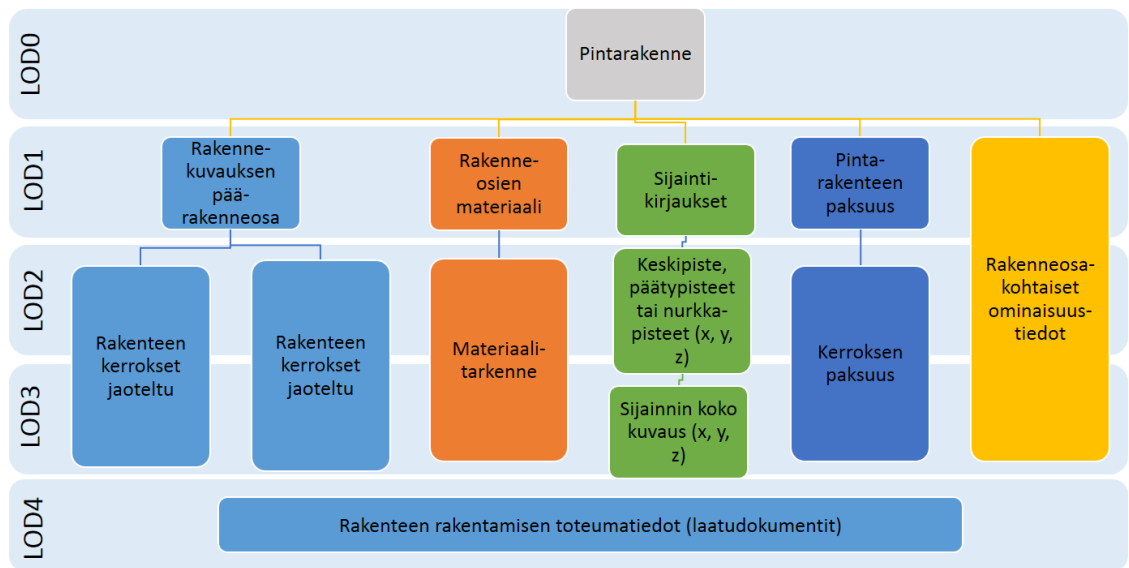


Kuva 55. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen jännebetonipalkille.

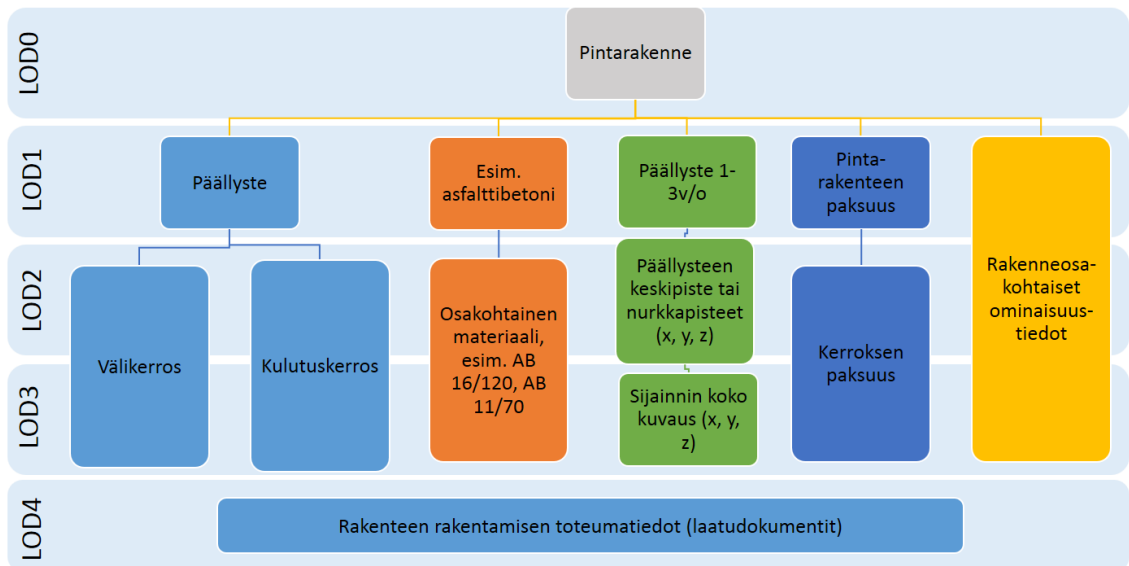


Kuva 56. Tarkkuustasoesimerkki päällysrakenteen reunapalkille.

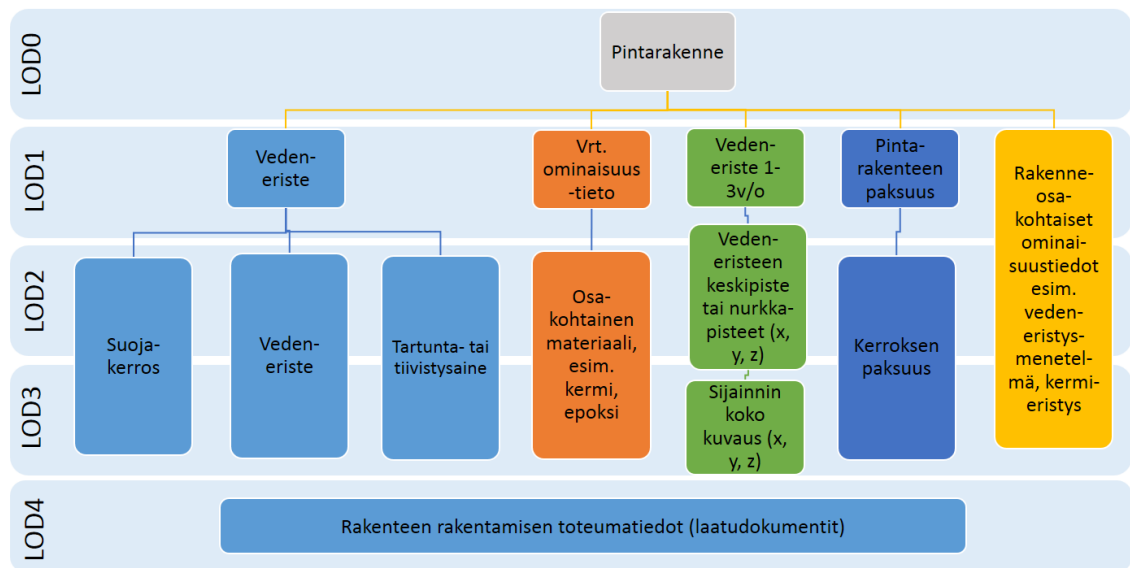
Kuvassa 57 on esitetty tarkkuustasoehtodotukset rakennekuvausten mukaisen pääraakeneosan pintarakenteen osalta. Pintarakenteelle LoD0 –tasolla ei tiedetä vielä tarkemmin muuta kuin pintarakenteen olemassaolo. LoD1 –tasolla on määritetty rakennekuvausten mukaiset tiedot pintarakenteesta, esimerkiksi vedeneriste, päällyste ja pintarakenteen kokonaispaksuus. LoD2 –tasolla kerrokset voidaan erotella ja yksittäisten kerrosten paksuudet tiedetään sekä materiaali tarkentuu. LoD3 –tasolla materiaali tarkentuu edelleen ja LoD4 –tasolla on esitetty rakenteen toteumat. Kuvissa 58 ja 59 on esitetty tarkkuustasoesimerkit päällysteelle ja vedeneristykselle. Päällyste voidaan jakaa LoD2 –tasolla väli- ja kulutuskerrokseen. Vedeneristys voidaan jakaa suojakerrokseen, vedeneristykseen ja tartunta- tai tiivistysaineeseen.



Kuva 57. Rakennekuvauksen mukainen tarkkuustasoehdotus pintarakenteelle.

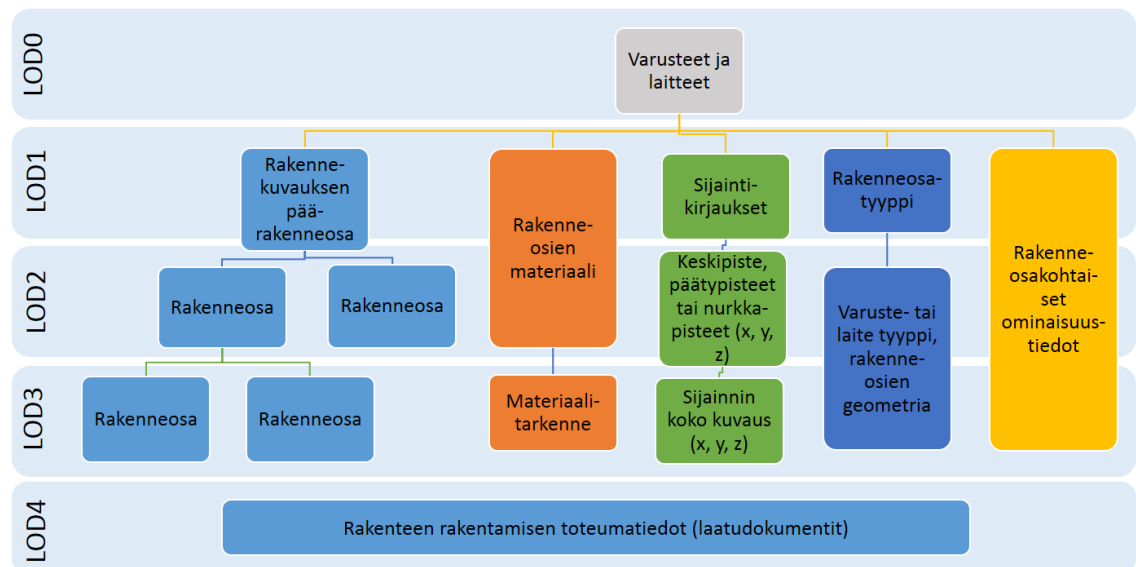


Kuva 58. Tarkkuustasoesimerkki pintarakenteen päällysteelle.



Kuva 59. Tarkkuustasoesimerkki pintarakenteen vedeneristykselle.

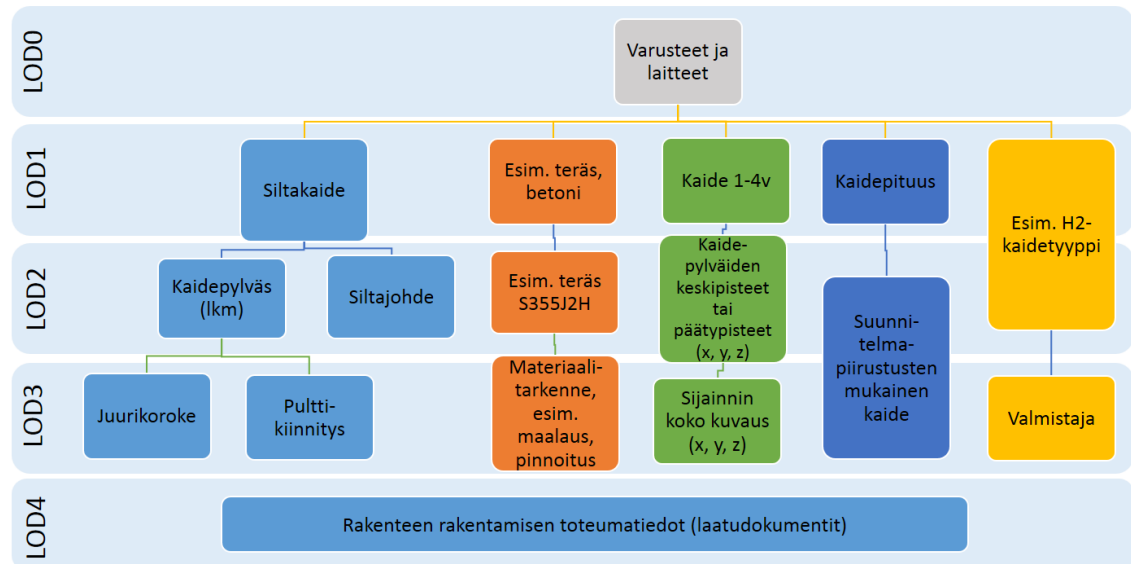
Kuvassa 60 on esitetty tarkkuustasoehdotukset rakennekuvauksen mukaisen pääraakenneosan varusteiden ja laitteiden osalta. LoD0 –tasolla on määritetty ainoastaan pääraakenneosa varusteet ja laitteet. LoD1 –tasolla on määritetty esimerkiksi siltakaide tai liikuntasauma, jotka määritellään Taitorakennerekisterin rakennekuvauksessa. Varusteiden ja laitteiden osalta LoD1 –tasolla on määritetty tietoja, jotka on esitetty yleispiirustuksessa. Tarkemmilla tasoilla tarvitaan jo rakenneosakohtaisia piirustuksia. LoD3 –tasolla esitetään joidenkin varusteiden tai laitteiden osalta valmistajan mukaiset piirustukset. Ominaisuudet tarkentuvat tasojen edetessä. LoD4 –tasolla on esitetty kyseisen varusteen tai laitteen toteumat.



Kuva 60. Rakennekuvauksen mukainen tarkkuustasoehdotus varusteille ja laitteille.

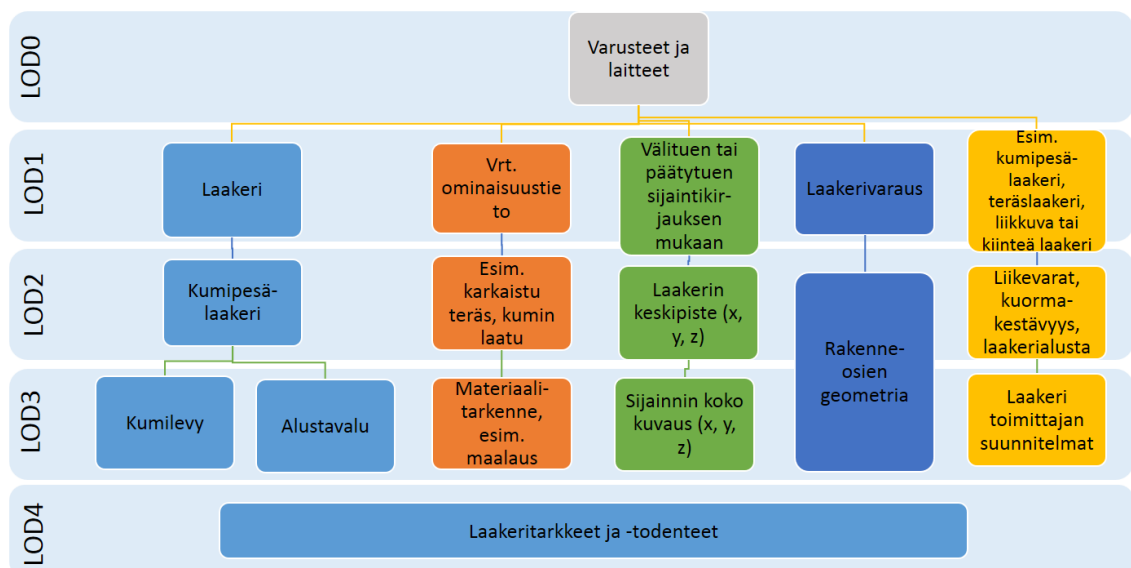
Kuvassa 61 on esitetty tarkkuustasoesimerkki kaiteelle. LoD1 –tasolla kaiteesta voi olla täsmäntävä kuvaus esimerkiksi H2-kaide tyyppi ja kaidepituus, joiden tiedot ovat esitetty yleispiirustuksessa. Jos kaide on tyyppipiirustusten mukainen, pystytään määrittämään tarkemmin, millainen kaide on kyseessä ja ylläpitokorjauksia on helpompi suorittaa.

taa, kun tiedetään, millaisia osia tarvitaan. LoD2 –tasolla siltakaide voidaan jakaa tarkempiin osiin. LoD2 –tasolla silloin tiedetään kaidepylväiden määrä ja siltajohteet ja suojaverkkojen määrä ja olemassaolo. Kaiteen osalta jokaiselle kaidepylväälle ei muodostu omaa rakenneosaa, vaan kaidepylväät ovat esitetty yhtenä kokonaisuutena. LoD3 –tasolla on määritelty rakennekuvauksen hierarkian seuraavat tasot, kuten kaiteiden juurikorokkeet ja pulttikiinnitykset.



Kuva 61. Tarkkuustasoesimerkki kaiteelle.

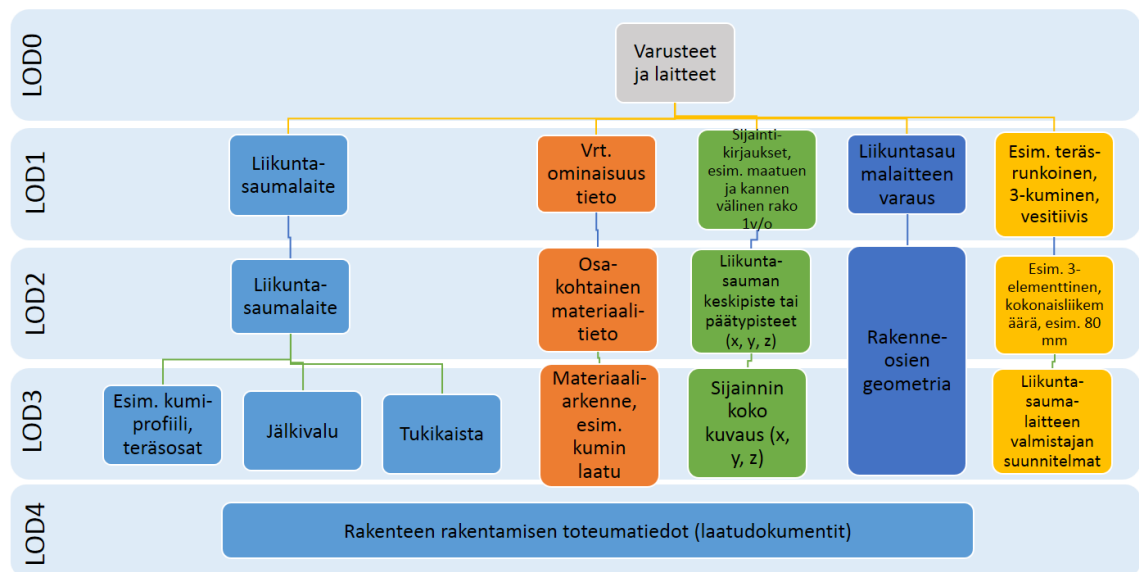
Kuvassa 62 on esitetty esimerkki laakerille. LoD1 –tasolla on määritetty laakerityyppi esimerkiksi kumipesälaakeri. Laakerityyppi on esitetty yleispiirustuksessa. Laakerityyppi on rakenneosakohtainen ominaisuustieto, mutta se antaa viitettä myös laakerin materiaalista. Rakenneosakohtaisia ominaisuustietoja LoD2 –tasolla voi olla liikevarat ja kuormakestävyys. LoD3 –tasolla laakeri voidaan jakaa esimerkiksi kumilevyyn ja laakerin alustavaluun. LoD3 –tasolla on määritetty laakeri toimittajan suunnitelman mukaiset tiedot. LoD4 –tasolla on esitetty laakeritarkkeet ja -todenteet.



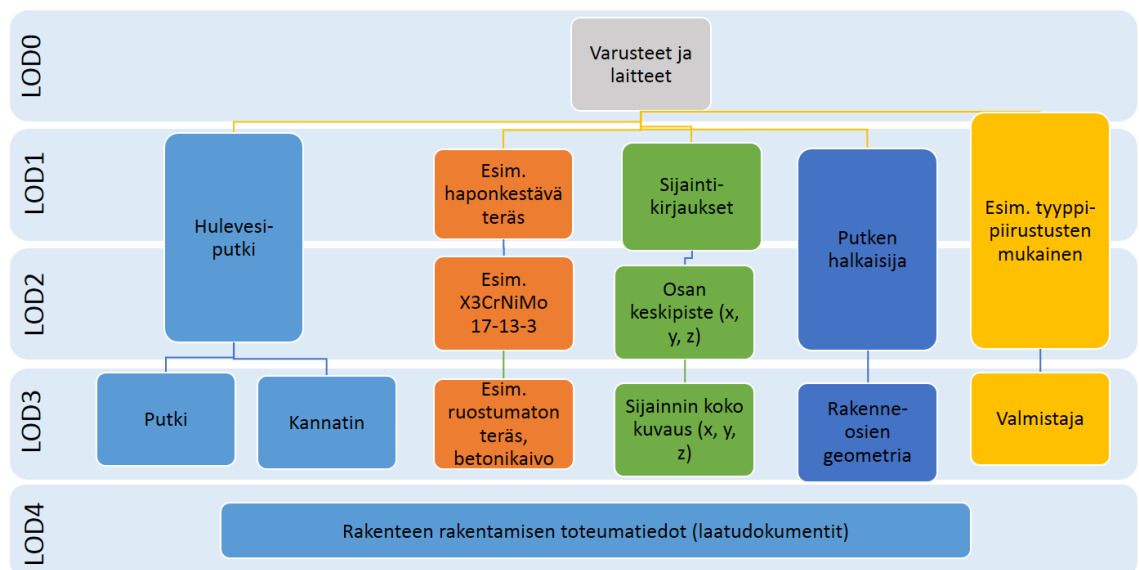
Kuva 62. Tarkkuustasoesimerkki laakerille.



Kuvassa 63 on esitetty tarkkuustasoesimerkki Liikuntasaumalaitteelle. LoD1 –tasolla on määritetty liikuntasaumalaitteen rakenneosakohtainen tieto. Esimerkiksi, että liikuntasaumalaite on teräsrunkoinen ja 3-kuminen. Tämä tieto löytyy yleensä yleispiirustuksesta. LoD2 –tasolla on määritetty liikuntasaumalaitteen kokonaisliikemäärät ja LoD3 –tasolla on määritetty liikuntasaumalaitteen valmistajan suunnitelmat. LoD3 –tasolla liikuntasaumalaite voidaan jakaa laitteen eri osiin kuten jälkivaluun ja tukikaistaan. Tarkimmalla LoD4 –tasolla on esitetty liikuntasaumalaitteen toteumat. Kuvassa 64 on esitetty tarkkuustasoesimerkki sillan kuivatukseen liittyvästä hulevesiputkesta. Hulevesiputki voi olla tyyppi- ja piirustusten mukainen, jolloin putkesta löytyy tietoa piirustusten mukaisesti. Hulevesiputki voidaan jakaa LoD3 –tasolla muun muassa putkeen, säleisiin, kannattimiin ja laippoihin.



Kuva 63. Tarkkuustasoesimerkki liikuntasaumalaitteelle.



Kuva 64. Tarkkuustasoesimerkki kuivatukselle – hulevesiputki.

Rakennekuvauksen pää rakenneosan siltapaikan ja ympäristön tarkkuustasoluokittelu on haastavampaa kuin muiden pää rakenneosien. Siltapaikalla voi olla hyvin erilaisia maastoja tai muita rakenteita ja järjestelmiä, joilla jokaisella on oma tarkkuustasonsa. Siltapaikan tarkkuustasoehdotukset on esitetty seuraavassa luvussa 6.3. Käyttäjien haastatte- luissa ilmeni useita tietotarpeita siltapaikkaan liittyen. Tietotarpeet on listattu käyttöta- pausten yhteydessä luvussa 5.3 ja kuvassa 37. Jatkotutkimuksissa tulee selvittää, mitkä näistä tiedoista on mahdollista linkittää Taitorakennerekisteriin.

Kun verrataan ehdotettuja ylläpitomallin tarkkuustasoja sillan suunnittelun ja mallin- nuksen eri vaiheiden tarkkuustasoihin, LoD3 –tasoa voidaan verrata silta- ja yleissuun- nitelmatarkkuuteen. Esisuunnitteluvaiheessa vertaillaan eri vaihtoehtoja, joten esisuun- niteluvaihe ei sovellu tarkkuustasojen lähtökohdaksi. Siltasuunnitelmassa toteutetaan pääpiirustus, joka sisältää rakenteet ja päämitat. Mallinnuksessa mallinnetaan kaikki näkyvissä olevat rakenteet ja alusrakenteet. Siltasuunnitteluvaiheessa ei määritetä rau- doituksia, eikä pieniä detaljeja. LoD3 –tasolla kuitenkin esitetään jo raudoitukset, muttei kuitenkaan pieniä detaljeja. Kaiken kaikkiaan LoD3 –tasolla on tarkempaa tietoa kuin siltasuunnitteluvaiheessa yleensä tuotetaan. LoD4 –taso on verrattavissa rakennussuun- nitelmatarkkuuteen, minkä perusteella silta rakennetaan. LoD4 –tasolla vaaditaan raken- tamisen aikaiset toteumat, eli tarkka kuvaus toteutetusta rakenteesta mittoineen, sijain- teineen ja materiaalitietoineen.

Tarkkuustasojen toleranssit tulee määritellä tarkemmin geometrian osalta. Tulee määri- tellä, mikä on riittävä tarkkuus kuvaamaan LoD1–LoD4 –tasojen geometriat. Vaaditut toleranssit vaihtelevat materiaaliakohtaisesti. Esimerkiksi betonirakenteilla vaihteluväli voi olla suurempi kuin teräsrakenteilla. Jos tietoja hankitaan fotogrammetrisillä mene- telmillä, tulee myös määritellä, mikä on riittävä mallin rakenneosien tarkkuus. Jos ra- kenteesta halutaan tehdä kolmiulotteinen malli LoD0 –tasolla eli Taitorakennerekisterin tietojen perusteella, pystytään tekemään suurpiirteinen esitys sillasta. Jos hyödynnetään yleispiirustusta eli rakennekuvausta ja LoD1 –tasoa, saadaan mallista hieman tarkempi. LoD2 – ja LoD3 –tasoilla kolmiulotteisesta mallista saadaan vielä tarkempi. Sijaintien osalta LoD2 –tasolla on määritetty keskipiste, pääty pisteet tai nurkkapisteet koordinaa- teissa. LoD3 –tasolla sijainti on kuvattu kokonaan koordinaateissa. LoD3 –tasolla pys- tytään mallintamaan jo koko raudoitus. Myös rakentamisaikaiset toteumat ovat esitet- tyinä LoD4 –tason mallissa.

Tarkkuustasojen tietotarpeita tulee arvioida myös käyttötapausten perusteella. Tulee arvioida, millä LoD –tason tiedoilla voidaan jokin tehtävä suorittaa. Tehtäviä suori- taan ja on suoritettu jo tämän hetkisin tiedoilla. Jos tietoa olisi enemmän ja helpommin saatavilla, pystyttäisiinkö välttämään siltapaikalla vierailu tai tiedon etsiminen eri läh- teistä. Muun muassa erikoistarkastusta varten hankittavista tiedoista suurimman osan saisi suoraan Taitorakennerekisteristä. Kun kaikista kantavista rakenteista on määritelty dimensioidut ja raudoitukset, pystytään arvioimaan rakenteen kantavuus. Jos nämä tiedot ovat syötetty ylläpitomallin arvojoukoltaan yhteneviin tietokenttiin, voidaan kantavuuk- sia arvioida automatisoidummin suuremmalle rakennejoukolle. Kun siltapaikan tiedot ovat tarkkoja esimerkiksi väylien piennarten, kaistojen lukumäärän ja keskijakajien osalta, voidaan tarkastusten nostolaitteiden paikat tai ylläpitokorjausten tekeminen suunnitella pääpiirteittäin ennen siltapaikalla käyntiä.

Mitä tarkempaa tietoa Taitorakennerekisterissä on arvojoukoltaan yhtenevissä tietoken- tissä, sitä helpommin pystytään tekemään erilaisia hakuja tietokannasta ja kehittämään omaisuuden hallintaa. Tietokannasta haetaan todella erilaisia tietoja, joten tiedonhaun

osalta tehtävän suorittaminen helpottuu koko ajan, mitä enemmän luotettavampaa tietoa on olemassa. Koska tälläkään hetkellä ei ole olemassa tarkkaa tietoa kaikista rakenteista, voidaan ajatella, että tiedetään enemmän lisäämällä tietoa tietokantaan. Tiedon täytyy ennen kaikkea olla luotettavaa. Tarkkuustasojen mukaan LoD1 –tasolla voidaan suorittaa tarkastukset, LoD2 –tasolla määrittää kantavuus tavanomaisille rakenteille ja LoD3 –tasolla määrittää kantavuus erikoisimmille rakenteille. LoD3 ja LoD4 –tasot ovat erityisesti omaisuuden hallintaa varten. Liikenneviraston näkökulmasta siltojen ylläpitomallissa pyritään tarkemmalle kuin pelkän rakennekuvauksen tietotasolle. Resurssien ja teknisten systeemien takia tällä hetkellä ei ole mahdollista tehdä heti tarkinta mahdollista mallia kaikista silloista, vaan täytyy edetä portaittain, jotta tietoa saadaan kerättyä ajan myötä. Tarkimmista malleista pitää tehdä ensin pilotteja.

### **6.3 Ylläpitomallin siltapaikan tietojen tarkkuustasot**

Ylläpitomalli tarvitsee lähtötiedokseen siltapaikan tietoja. Jatkotutkimuksissa tulee selvittää, onko joistakin siltapaikoista olemassa jo valmiina tietoja tai avoimien tietokantojen avulla helposti saatavilla olevia tietoja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi maastomallia laadittaessa. Tässä luvussa esitetään siltapaikan tietojen tarkkuustasot. Tarkkuustasot ovat määritelty tarkemmin erillisessä projektissa. Lähtötiedot vaikuttavat osaltaan siihen, minkä tarkkuustason ylläpitomalleja kannattaa tehdä. Jos sillasta on olemassa tietyn tarkkuustason tiedot jo valmiiksi, kannattaa tietoa tallentaa siinä tarkkuudessa, kun työmäärä on järkevää, eikä vähentää tiedon tarkkuutta. Jos tieto on tietomallipohjaista ja ylläpitomallin mukaisesti määritellyissä arvojoukoissa, pystytään ylläpitomalli luomaan tehokkaasti. Kuvassa 65 on esitetty ylläpitomallin lähtöaineisto ja sen linkittyminen tarkastustietoihin, joka on muokattu Taitorakenteen suunnittelun lähtötietoon ohjeen kuvasta (vertaa kuva 39, Taitorakenteen suunnittelun lähtötietoaaineisto). Siltapaikasta tarvittavia tietoja ovat muun muassa maasto- ja maaperämalliaaineisto, kartta- ja paikkatietoaaineisto, väylän tiedot sekä tiedot järjestelmistä ja muista siltaan liittyvistä rakenteista. Lähtötietona tarvitaan olemassa olevasta sillasta myös siltarakenteen kuvaus, jonka tarkkuustasot on määritelty edellisessä luvussa. Ylläpitomallin lähtötietoaaineisto linkittyy tarkastustietoihin, kun taas suunnitteluvaiheessa lähtötiedot linkittyvät suunnitelmatietoihin.



Kuva 65. Ylläpitomallin lähtötietoaineisto.

Ylläpitomalleja laadittaessa tulee ottaa huomioon myös, milloin tiedot ovat tuotettu. Esimerkiksi muutama vuosi sitten tuotetun aineistoin nykytila on voinut muuttua. Kun rakenne toteutetaan tietomallipohjaisesti, päästään ylläpitomallissa tarkkuustasolla tarkimmalle tasolle. Ei kuitenkaan riitä, että suunnitelmat on tehty tietomallipohjaisesti, vaan rakentamisaikaiset toteumat ja tiedot täytyy olla myös mallissa. Toteumien tulisi olla suunnitelmissa esitettyjen toleranssien sisällä. Lähtötietojen tarkkuustasoehdotuksien lähtökohtana on se, että matalimmalla tarkkuustasolla on sellaisia tietoja, jotka ovat automaattisesti saatavilla. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi kartta tai ilmakuvat. Tarkemmille tasoille mentäessä tarvitaan enemmän manuaalista työtä, koska tieto ei muodostu enää automaattisesti. LoD1 –tasolla voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi jokin yleinen tietokanta, jonka avulla voidaan tarkentaa matalimman tason tietoa. Lähtötietojen avulla tuotettavan tiedon tulee olla järkevällä työmäärällä tehtävissä.

Maasto- tai maaperämallin osalta matalimmalla tarkkuustasolla lähtötietona on kartta ja ilmakuva (taulukko 4), jotka ovat saatavilla kaikkialta Suomessa. LoD1 –tasolla lähtötietona voi olla mahdollisesti jonkin yleisen tietokannan maastomalli. LoD2 –tasolla lähtötietona on Liikenneviraston Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohjeen mukainen yleispiirteinen maastomalli ja LoD3 –tasolla saman ohjeen mukainen tarkka maastomalli. Tarkimmalla LoD4 –tasolla mallissa on kuvattuna myös suunnittelun ja rakentamisen aikaiset toteumat. Maa-, pohja- ja kalliorakenteiden osalta matalimmalla tasolla on kartta ja ilmakuva (taulukko 5). LoD1 –tasolla lähtötietona on maaperäkartat. LoD2 –tasolla lähtötietona on siltasuunnitelmavaiheen tarkkuudella liittyvät pohjatut-

kimuksiin perustuvat tulkinnat ja LoD3 –tasolla rakennussuunnitelmavaiheen tulkinnat. Tarkimmalla tasolla on lisäksi kuvattuna suunnittelun ja rakentamisen aikaiset toteumat.

**Taulukko 4. Maastomallin tietojen tarkkuustasoehdotukset**

LOD0	Kartta ja ilmakekuva
LOD1	Maastomalli (yleinen)
LOD2	Yleispiirteinen maastomalli
LOD3	Tarkka maastomalli (luokiteltu)
LOD4	Toteumat (suunniteltu ja rakennettu)

**Taulukko 5. Maa-, pohja- ja kalliorakenteiden tietojen tarkkuustasoehdotukset**

LOD0	Kartta ja ilmakekuva
LOD1	Maaperäkartat
LOD2	Pohjatutkimuksiin perustuvat tulkinnat (Siltasuunnitelma)
LOD3	Pohjatutkimuksiin perustuvat tulkinnat (RS)
LOD4	Toteumat (suunniteltu ja rakennettu)

Väylän ja/tai väylien lähtötietojen matalimmalla tarkkuustasolla lähtötietona on Taitorakennerekisterin mukaiset tiedot, jotka generoituvat Liikenneviraston Tieräkisteristä (taulukko 6). LoD1 –tasolla on lähtötietoina kyseisen väylän tai risteävän väylän tiedot joko Tieräkisteristä, Ratatiedon palvelusta tai kaupunkien tietokannoista sekä väylän geometria. LoD2 –tasolla lähtötietona on yleispiirteinen väylämalli, jossa on väylien tilavarausten vaatimukset. LoD3 –tasolla on lähtötietona tarkka väylämalli, jossa on väylien tilavarausten vaatimukset. LoD4 –tasolla on esitetty suunnittelun ja rakentamisen aikaiset toteumat. Järjestelmien lähtötietona matalimmalla tarkkuustasolla on esimerkiksi johtotietopalvelun kartta-aineisto tai muu vastaava palvelu (taulukko 7). Liittyvien rakenteiden matalimmalla tarkkuustasolla lähtötietona on kartta ja ilmakekuva (taulukko 8). Molempien järjestelmien ja liittyvien rakenteiden osalta LoD1 –tasolla lähtötietona on jokin tarkempi aineisto kuin LoD0 –tasolla. LoD2 –, LoD3 – ja LoD4 –tasolla lähtötietoina on vastaavat lähtötiedot kuin väylän lähtötietojen osalta.

**Taulukko 6. Väylän/Väylien tietojen tarkkuustasoehdotukset**

LOD0	Taitorakennerekisteri, väylien tietojen osalta
LOD1	Tieräkisteri/Ratatiedon tietopalvelu/Kaupunkien väylät – väylän geometria
LOD2	Yleispiirteinen väylämalli + Väylien tilavaraus vaatimukset
LOD3	Tarkka väylämalli + Väylien tilavaraus vaatimukset
LOD4	Toteumat (suunniteltu ja rakennettu)

**Taulukko 7. Järjestelmien tietojen tarkkuustasoehdotukset**

LOD0	Johtotietopalveluiden kartta-aineistot tai muut vastaavat
LOD1	Muu tarkempi aineisto
LOD2	Yleispiirteinen maastomalli + tilavaraus objektit
LOD3	Tarkka maastomalli + tilavaraus objektit
LOD4	Toteumat (suunniteltu ja rakennettu)

**Taulukko 8. Liittyvien rakenteiden (siltapaikan muut rakenteet) tietojen tarkkuustasoehdotukset**

LOD0	Kartta ja ilmakuva
LOD1	Muu tarkempi aineisto
LOD2	Yleispiirteinen maastomalli + tilavarausobjekti
LOD3	Tarkka maastomalli + tilavarausobjekti
LOD4	Toteumat (suunniteltu ja rakennettu)

## 6.4 Ylläpitomallin tarkkuustasojen käytön kriteerit

Kaikista silloista ei pystytä resurssien ja rahoituksen puitteissa laatimaan yksityiskohtaisia ylläpitomalleja. Tämän vuoksi kannattaa priorisoida sillat, joista laaditaan tarkka ylläpitomalli. Tässä luvussa esitetään eri kriteereitä siltojen jaottelua varten ja ehdotetaan, miten Liikennevirasto voi luokitella siltoja. Siltojen LoD –jaottelussa eli millä tarkkuudella mikäkin silta viedään ylläpitomalliin, voi käyttää lähtökohtana muun muassa sillan ominaisuuksia ja käyttäjien tärkeiksi nostamia kriteereitä. Jaottelun pohjalta voidaan laatia minimivaatimukset tietyn tyyppisten siltojen ylläpitomalleiksi. Esimerkiksi sillan koko, tyyppi, siltapaikkaluokitus, toiminnallinen luokitus, hoitoluokka ja valmistumisvuosi voivat olla siltojen jaottelun lähtökohtina. Liitteissä 2 ja 3 on esitetty siltojen jaottelun kriteereitä ja ehdotuksia, miten sillat voivat jakaantua eri tarkkuustasoille. Kriteereiden perusteella on tehty hakuja Taitorakennerekisteristä. Taulukossa 9 on esitetty esille nousseita kriteereitä siltojen jaottelussa.

**Taulukko 9. Siltojen jaottelussa esille nousseita kriteerit**

Kriteeri
Siltapaikkaluokitus
Toiminnallinen luokitus
Hoitoluokka
Koko
Siltatyyppi
Erikoiset rakenteet
Valmistumisvuosi
Päärakennusmateriaali
Käyttötarkoitus
Korjaus
Erikoistarkastus
Suurimmat sillat
Suunnittelukuormat
Museosillat
Avattavat sillat
Uudet sillat

Sillan kokoon liittyvät esimerkiksi määreet kokonaispituus, jännemitat ja kokonaispinta-ala. Sillan tyyppi voi olla laatta- tai palkkisilta ja materiaalina voi olla esimerkiksi teräsbetoni tai teräs. Siltapaikkaluokitus kuvaa siltapaikan esteettisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia (Liikennevirasto 2013b, s. 7). Kriteereinä luokitukselle ovat siltapaikan sijainti, maisema-arvo, kulttuuriarvo sekä erityiset esteettiset tavoitteet ja symboliarvo (Liikennevirasto 2013b, s. 7). Siltapaikat luokitellaan näiden kriteerien perusteella luokkiin I–IV, joista luokka I on erittäin vaativa ja IV on vaatimaton (Liikennevirasto 2013b, s. 7). Siltojen tietomalliohjeen mallinnusvaatimukset siltojen suunnitteluvaiheessa riippuvat osin sillan merkittävytydestä (Liikennevirasto 2014c, Liite 2), joten siltapaikkaluokitus ehdotetaan yhdeksi tärkeimmistä kriteereistä ylläpitomallin tarkkuustasojen käytön vaatimuksissa.

Toiminnallinen luokitus liittyy tiestön kunnossapidon ohjaukseen ja suunnitteluun. Maantiet ovat jaettu neljään toiminnalliseen luokkaan: valtatiet, kantatiet, seututiet ja yhdystiet. Rautatiet ovat jaoteltu kunnossapitotasoihin, joihin vaikuttaa radan liikenteelliset tarpeet, päällysrakenne ja maksiminopeus. Kunnossapitotasot ovat jaettu osiin 1AA–6, joista 1AA on vaativin kunnossapitotaso. Maantieverkon hoitoluokka kuvaa liikennemääriä vuorokausitasolla. Keskimääräinen vuorokausiliikenne antaa kuvan liikennekysynnästä ja tien merkityksestä. Toiminnallinen luokitus ja hoitoluokka ohjaavat yhdessä kunnossapitoa. (Liikennevirasto 2012, s. 12–15 & 24.) Valmistumisvuosi voi vaikuttaa tarkkuustasoon, koska tarvittavia tietoja ei välttämättä löydy vanhoista silloista samalla tavalla kuin uudemmissa. Siltoja voidaan jaotella muun muassa käyttötarkoituksen mukaan esimerkiksi vesistösilta, alikulkusilta tai ylikulkusilta. Käyttötarkoituksen mukaisella jaottelulla ei ole niin suurta merkitystä siltojen tarkkuustasojen priorisoinnissa.

Haastatteluissa käytiin läpi, mitä eri tietoja kukin käyttäjä työssään tarvitsee. Esimerkiksi kunnossapidon ohjelmoinnin kriteereitä voidaan käyttää myös siltojen tarkkuustasojen luokittelun kriteereinä. Ratasiltojen ohjelmoinnissa käytetään huonokuntoisten siltojen välillä kriteereinä tietyn rataosuuden radalla kulkevan tavarantoimittajien, matkojen määrää ja radan kunnossapitotasoa. Henkilöliikenteelle ja tavaraliikenteelle tärkeiden rataosuuksien siltoja priorisoidaan. Tiesiltojen ohjelmoinnissa arvioidaan siltoja muun muassa kunnan, valmistumisvuoden, hoitoluokan ja toiminnallisen luokan mukaan. Jos silta on painorajoitettu tai sillan välityskyky on huono, voidaan silta ohjelmoida korjaukseen aiemmin.

Haastattelujen tulosten perusteella siltojen priorisointi voi olla lähtökohtana tarkkuustasojen jakautumiselle. Siltojen jaottelua eri tarkkuusluokkien ylläpitomalleihin voisi lähtökohtaisesti katsoa esimerkiksi siltatyyppien kautta tai sillan tien käyttöluokan mukaan. Infran kannalta tärkeistä kohteista voisi olla tarkemmat tiedot ylläpitomallissa. Jos mallipohjaista lähtötietoa ei ole saatavilla, on poistuvia siltatyyppejä turhaa inventoida tarkasti. Liikenteeltä poistetuista rakenteista on luultavasti turhaa laatia tarkkaa ylläpitomallia. Erikoisemmat rakenteet voisivat olla tarkemmin Taitorakennerekisterissä kuin tavanomaiset rakenteet. Esimerkiksi jännitetty betonisilta voisi olla tarkemmin ylläpitomallissa kuin teräsbetoninen silta. Rakenteet, joilla on huono vaurionsietokyky, voisi laatia myös tarkemmin. Haastatteluiden perusteella tarkan ylläpitomallin laatimisesta olisi erityisesti hyötyä erikoistarkastuksen ja siitä mahdollisesti seuraavan korjaussuunnittelun yhteydessä. Tarkemman tason malleja voisi alkaa tehdä erikoistarkastuksen yhteydessä. Tällöin korjausohjelmoitavia siltoja voisi priorisoida tarkkuustasoissa korkeammille tasoille. Toisaalta, jos silta uusitaan, ei ylläpitomallille ole niin paljon käyt-

töä. Uuden sillan suunnittelussa olisi kuitenkin paremmat lähtötiedot siltapaikasta. Korjausten yhteydessä on erittäin tärkeää, että toteumatiedot tallennetaan myös ylläpitomalliin.

Joitakin siltojen ominaisuustietoja tarvitaan jokaisesta sillasta. Esimerkiksi kunto- ja kantavuustiedot tarvitaan kaikista silloista. Kantavuuden määrittämiseksi erikoisemmille rakenteille tarvitaan enemmän tietoa, kuin tavanomaisten rakenteiden kantavuuden määrittämiseksi. Toisaalta voidaan ajatella, että kaikista silloista tarvitaan yhtä tarkkaa tietoa. Tähän asti on tultu toimeen tämän hetkisillä tiedoilla ja tarkoitus onkin kartoittaa mitä tietoja on hyvä olla lisää, jotta siltojen ja suuren tietomäärän hallinta on helpompaa. Kaikista olemassa olevista silloista ei pystytä resurssien ja rahoituksen puitteissa tuottamaan täydellistä ylläpitomallia, mutta ainakin osasta silloista pyritään tekemään tarkempia ylläpitomalleja. Projektinhallinnan kannalta siltojen jaottelu auttaa ylläpitomalli –projektin läpiviennissä. Jos sillasta on olemassa tietyn tarkkuustason lähtötiedot, kannattaa samalla viedä tämän tarkkuustason tiedot ylläpitomalliin.

Kun silta on suurempi ja pidempi, kolmiulotteinen tietomalli toimii hyvin erityisesti havainnollistamisessa. Mallin tulee suuremmilla silloilla olla tarkempi, koska pienemmällä sillalla rakenteita ja varusteita on vähemmän. Kaikkia varusteita ei välttämättä tarvitse mallintaa, vaan kuvalla täydentäminen tarkentaa mallia. Kolmiulotteinen ylläpitomalli palvelee erityisesti siltojen tarkastuksessa. Sillat, jotka kuuluvat siltapaikkaluokituksen mukaan luokkaan erittäin vaativa, voisivat kuulua tarkempaan ylläpitomallin tarkkuustasoon. Kunnossapitoon liittyvät toiminnallinen luokitus ja hoitoluokka voisivat myös jaotella tarkkuuden korkeammalle tasolle, kun kunnossapito luokitus on korkeampi. Painorajoitetut ja välityskyvyltään huonommat sillat voidaan mallintaa tarkemmin, jotta saadaan tietoa rajoitteista ja voidaan suunnitella esimerkiksi erikoiskuljetuksen reitti helpommin.

Liikenneviraston (2016) julkaisussa Liikenneviraston sillat, on esitetty tilastoja Liikenneviraston hallinnoimista silloista. Tilastoissa on erikseen listattu esimerkiksi elementtirakenteiset sillat, avattavat sillat, museosillat, suurimmat sillat sekä sillat, joissa on käytetty Kreuz-Edelstahl –laakereita tai KA-jännemenetelmää. Näitä siltoja voitaisiin priorisoida tarkempien tarkkuustasojen ylläpitomalleihin. Haastatteluissa ilmeni myös omistajatahon tarve monille tietotarpeille, joista osaa tämän julkaisun siltojen tarkemmat tiedot voivat palvella. Liikenneviraston omistuksessa on 44 teiden ja rautateiden museosiltaa (Liikennevirasto 2016a, s. 33 & 122). Tietomalli voi toimia myös historiatietojen ja kulttuuriperinnön dokumentoinnin säilytyspaikkana. Museosillat voivat olla yhtenä kriteerinä, kun mietitään mitä siltoja mallinnetaan tarkemmin. Tilaajan näkökulmasta kymmenestä tuhannesta merimerkeistä noin 1%:lle (esim. isot majakat ja reunamerkit) on hyvä tehdä tarkempi ylläpitomalli, jossa pystyy vertaamaan eri aikoina tehtyjä mitauksia ja arvioimaan rakenteen liikkeitä. Noin 5%:lle on hyvä olla kolmiulotteinen malli.

Eri kriteereiden pohdinnan perusteella tässä työssä käytettävät kriteerit siltojen jaottelussa ovat sillan tien hoitoluokka, toiminnallinen luokitus, siltapaikkaluokitus sekä sillan suuri koko. Näiden kriteerien avulla jaoteltuna infran kannalta tärkeät sillat ja ylläpidoltaan haastavimmat sillat ovat tarkemmalla tarkkuustasolla. Yksittäisiä siltoja voidaan tarpeiden mukaan inventoida kohdekohtaisesti tarkemmin. Ehdotukset ovat tehty Liikenneviraston omistamille tienpidon silloille, eikä rautatiesilloja ole käsitelty tässä tarkastelussa. Taulukossa 10 on esitetty tässä diplomityössä kehitetyt ehdotukset Liikenneviraston siltojen tarkkuustasojen jaotellulle. Kaikista silloista vaaditaan LoD0 ja



LoD1 tason tiedot. Siltapaikkaluokituksen mukaiset vaativat sillat, valtateiden ja kanta-  
teiden sillat sekä 3000...12 000 keskimääräisen vuorokausiliikenteen sillat luokitellaan  
LoD2 –tasolle. LoD2 –tason kriteereillä haettuna siltoja on noin 6600. LoD3 –tasolle  
luokitellaan siltapaikkaluokituksen mukaiset erittäin vaativat sillat, yli 12 000 keski-  
määräisen vuorokausiliikenteen 2-ajorataisten superteiden sillat sekä kokonaispituu-  
deltaan yli 100 metrin sillat, jotka ovat valtateilla. Superteillä tarkoitetaan teitä, jotka  
pidetään normaalisti aina paljaina, myös öisin (Liikennevirasto 2013a, s. 90). LoD3 –  
tason kriteereillä haettuna siltoja on noin 2100. Tarkimman LoD4 –tason ylläpitomalleja  
tehdään uusille silloille. Liitteessä 3 on esitetty ehdotusten mukaiset hakukriteerit Taito-  
rakenneräkisterissä.

**Taulukko 10. Ehdotukset tarkkuustasojen käytölle**

Kriteeri	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Siltapaikkaluokitus	Kaikki sillat	Kaikki sillat	Vaativa	Erittäin vaativa	Uudet sillat
Toiminnallinen luokitus			Valtatie, Kanta- tie		
Hoitoluokka			KVL 3000...12000	2-ajorataiset su- pertiet KVL>12000	
Koko				Kokonaispituus > 100m valtateiden silloilla	

## 6.5 Tulevaisuuden mahdollisuuksia

Teknologia kehittyy nopeasti, joten tarkkuustasovaatimuksia ei kannata lyödä lukkoon pitkälle aika välille, vaan tehdä siten, miten on mahdollista milläkin hetkellä ja millainen työmäärä on järkevä. Esimerkiksi tulevaisuudessa tiedon päivitysprosessi ja hankintamenetelmät voivat olla tehokkaampia. Kuitenkin tämän hetkisiäkin prosesseja tulee kehittää, jotta pystytään tuomaan lisäarvoa uusilla menetelmillä. Tulevaisuudessa on saatavilla enemmän tietomallimuotoista lähtötietoa, mikä helpottaa ja automatisoi ylläpitomallin laatimista. Tiedon määrä tulee lisääntymään koko ajan ja haasteeksi muodostuu suuren tietomäärän hallinta. Myös suuren tietomäärän hallinta kehittyy ja tulevaisuudessa sovellukset toimivat paremmin käyttötarkoituksensa mukaisesti.

Jos tarkkoja malleja tehdään vain uusien siltojen osalta, mallit päivittyvät tarkoiksi pitkän ajan kuluessa. Peruskorjauksia tehdään silloille noin 30–40 vuoden välein. Jos ylläpitomalleja tehdään korjausten yhteydessä, saadaan tarkempia malleja aikaisemmin. Jos tarkkoja malleja halutaan enemmän, tulee vaatimuksia täsmentää ja sisällyttää tarkempien ylläpitomallien laatiminen jo erikoistarkastusten yhteyteen tai teettää niitä muutoin erikseen. Jos verrataan kuvassa 5 esitettyä siltojen päällysrakenteen ikäjakaumaa LoD – jaotteluun, on jo iso osa silloista peruskorjauksissa tällä hetkellä.

Haastatteluissa tuli ilmi erilaisia visioita tulevaisuuden mahdollisuuksista ylläpitomalleihin liittyen. Jos jokaisesta sillasta olisi tarkka ylläpitomalli, siltakannasta olisi saatavilla paljon tietoa, jota omistajataho voisi analysoida tarkasti. Ohjelmointi olisi automaattisempaa eikä henkilöstöä tarvitsisi niin paljon, vaan asiantuntijat pystyisivät keskittymään enemmän asioiden kehittämiseen. Kolmiulotteiset tietomallit olisivat päätöksenteon tukena ja erityisesti tarkastustoiminta muuttuisi. Toimintatavat olisivat yhtenäisemmät eri organisaatioissa ja ympäri Suomea. Tietoa pystyisi tarkastelemaan myös

muut kuin silta-asiantuntijat. Esimerkiksi tien käyttäjät hyötyisivät ylläpitomallista saatavista tiedoista sekä muita uusia käyttäjäryhmiä saattaisi muodostua, kun tietoa on helposti saatavilla. Tarvittavien tietojen haku onnistuisi helpommin, kun luotettavaa tietoa on saatavilla paljon. Tietokannan avulla pystyttäisiin esimerkiksi arvioimaan kustannuksia, ennakoimaan sillan elinkaarta ja peruskorjauksia. Pienempien ylläpitokorjausten avulla pystyttäisiin ehkäisemään peruskorjaukset kokonaan ja pitämään sillan käyttöikä pitkänä. Tällöin tiedetään paremmin, miten silta kokonaisuudessaan käyttäytyy ja min-kälaisia ovat vaurioitumismekanismit. Korjaussuunnittelijalla olisi aina hyvät lähtötiedot. Korjaustoimintaa saataisiin ylläpitomallien avulla automatisoidummaksi. Jos jokaisen sillan ylläpitomallissa olisi lisäksi kolmiulotteinen ominaisuus, tulisi siltojen hallinta muuttumaan visuaalisuuden myötä, erityisesti siltojen tarkastus olisi tehokkaampaa.

OID-yksilöintilukujen avulla pyritään siihen, että tulevaisuudessa Taitorakennerekisterin tietoja voitaisiin päivittää automaattisesti. Uusissa rakennushankkeissa jokaisella rakenneosalla on omat tunnukset ja tiedot päivittyisivät OID-avaimien avulla automaattisesti ylläpitomalliin. Taitorakennerekisterin rajapintojen avulla pystytään saamaan tarkkaa tietoa siltapaikasta. Rajapinnoista kaupunkien infraan, muihin karttasovelluksiin, tele- ja kaapelitietoihin pystyy saamaan tukea päätöksentekoon sekä korjausten suorittamiseen. Avoin tietokanta voi parantaa kilpailukykyä alalla ja palveluntarjoajat pystyisivät tekemään tarjouksia saatavilla olevien tietojen avulla.

Tulevaisuudessa teknologian kehittyminen voi mahdollistaa monia uusia asioita. Esimerkiksi suunnitelmien tarkastaminen voi olla automatisoitua; rakennusten suunnitelmien tarkastuksessa on testattu automaattisesti, ovatko poistumistiet määräysten mukaiset. Siltoja monitoroitaisiin ja monitorointi ilmoittaisi automaattisesti hallinnoijalle, jos sillassa ilmenee jokin ongelma. Korjaukset voitaisiin tällöin toteuttaa nopeammin, eivätkä vauriot ehtisi edetä suurempia korjauksia vaativiksi. Ylläpitotoimenpiteitä voidaan suunnitella etukäteen esimerkiksi virtuaalitodellisuuden avulla. Tulevaisuudessa yleistarkastuksissa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kauko-ohjattavia koptereita. Kolmiulotteinen malli voisi liikkua siltapaikalla henkilön kanssa samassa kohdassa. Vaurion sijainti olisi tällöin helppo kirjata ja toisaalta myös havaita edellisessä tarkastuksessa kirjattu vaurio. Vauriot pystyttäisiin tunnistamaan automaattisesti esimerkiksi kameran avulla. Sovelluksen avulla huomattaisiin myös, jos vaurio on laajentunut edellisestä tarkastuksesta. Robotteja voitaisiin hyödyntää näytteiden ottamisessa erikoistarkastuksissa. Kolmiulotteinen tietomalli voidaan luoda monin tavoin eri ohjelmistoilla myös olemassa olevista rakenteista. Luvun 4.3 kuvassa 17 on esitetty erilaisia fotogrammetrisiä menetelmiä lähtötietojen hankkimiseen olemassa olevasta rakenteesta. Tulevaisuudessa teknologian kehittymisen myötä lähtötietojen hankinta voi helpottua ja ylläpitomalli voisi muodostua lähes automaattisesti. Esimerkiksi ohjelmistoon vietäisiin tietomalli, ja ohjelma ehdottaisi vaihtoehtoja, joista asiantuntija valitsisi oikeat vaihtoehdot. Tämä kuitenkin vaatii ohjelmistojen kehittymistä.

## **6.6 Tulosten analyysi**

Tämä tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta ja tapaustutkimuksesta, joiden perusteella laadittiin tarkkuustasoehdotukset Liikenneviraston siltojen ylläpitomallin tietosisällölle. Tutkimuksen avulla pyrittiin määrittämään ylläpidon tietotarpeita Liikenneviraston Taitorakennerekisterille eli esimerkiksi mitä tietoja rekisterissä olisi hyvä olla lisää. Tarkkuustasojen lähtökohtina käytettiin myös aikaisempia määritelmiä LoD – tasoista sekä Liikenneviraston suunnittelun ja toteutuksen tietosisältöä. Tietotarpeita selvitettiin käyttäjien haastatteluiden avulla. Haastatteluissa haastateltiin 21 eri asiantuntijaa. Haastateltavien joukossa oli eri silta-alan asiantuntijoita eri tahoilta, mutta haasta-

teltavien joukko ei anna yksiselitteistä näkemystä tietotarpeista siltojen hallinnassa. Tutkimuksen tulokset koskevat vain Liikenneviraston siltojen hallintaa.

Tutkimustulosten perusteella muodostettuja tarkkuustasoja voidaan käyttää Liikenneviraston Taitorakennerekisterin ylläpitomallissa. Tämän työn yhteydessä tarkkuustasoja ei ole testattu käytännössä, joten testaaminen vaatii jatkotutkimuksia. Tasot ovat luotu yleisimpien rakenneosien perusteella, joten niitä tulee jatkossa täydentää muilla rakenneosilla. Esimerkiksi puusiltojen rakenneosien kannalta tarkastelua ei ole tehty. Tasojen käytännön testaaminen vaatii paljon aikaa ja resursseja. Työmäärän ja kustannusten arviointia eri tarkkuustasojen vaatimuksilla ei ole määritelty tässä työssä, mutta ne täytyy ottaa huomioon projektin läpiviennissä. Teknologian kehittyessä tulevaisuudessa tietomallipohjainen siltojen hallinta, suuren tietomäärän hallinta ja tietojen päivitys voivat olla yksinkertainen ja automatisoitu prosessi. Näin ollen tässä työssä ehdotetut tarkkuustasot eivät ole tulevaisuudessa välttämättä enää perusteltuja. Esimerkiksi välitarkkuustason määritelmiä ei välttämättä tarvita, koska tarkkojen mallien teko voi olla huomattavasti tehokkaampaa kuin nykyisin. Siltapaikan tietojen tarkkuustasoja ei ole myöskään testattu käytännössä tämän työn yhteydessä, joten niiden osalta tulee tehdä lisäselvityksiä. Siltapaikan tietojen osalta tulee tutkia, mitä tietoja on saatavilla ja miten niitä voi helposti hyödyntää ylläpitomallin laatimisessa. Siltoja voidaan jaotella tarkkuustasojen mukaan monien eri kriteereiden perusteella ja tässä työssä esitetty jaottelu on yksi ehdotus. Tässä työssä esitettyä priorisointitapaa ei ole testattu käytännössä, joten sitä tulisi tutkia lisää jatkossa.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämä työ koostuu kirjallisuustutkimuksesta ja tapaustutkimuksesta. Kirjallisuustutkimuksessa on selvitetty aikaisempien tutkimuksien tuloksia, siltojen ylläpitoa ja hallintaa sekä tietomallien hyödyntämistä rakenteen suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon aikana. Tapaustutkimuksessa on määritetty Liikenneviraston Taitorakennerekisterille ylläpidon tietotarpeet, joiden perusteella on kehitetty tarkkuustasoehdotukset ylläpitomallille sekä luokiteltu siltoja ehdotettujen tarkkuustasojen mukaisesti.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella Liikenneviraston käytännöt siltojen hallinnassa ovat kansainvälisesti vertailtuna melko edistyneet. Yleensä siltojen hallinnassa hyödynnetään digitaalista tiedon kokonaisuutta ja tietokoneistettua järjestelmää, mutta kolmiulotteisia tietomalleja käytetään vielä vähän. Siltojen hallinnassa haasteena on suuri tietomäärä ja luokittelematon tieto. Suuren rakennejoukon hallinnassa ja siltojen kunnossapidon ohjelmoinnissa tavoitteena on, että prosessi on mahdollisimman automatisoitu. Kun tietoa on saatavilla paljon ja se on luotettavaa, on rakenteen historia-analyysit ja rappeutumismallit helpompi määrittää. Rakenteen tulevaisuutta pystytään myös arvioimaan paremmin ja mahdollisesti pienempien ylläpitokorjausten avulla välttämään suuremmat peruskorjaukset. Kolmiulotteista mallia hyödyntämällä siltojen hallinnassa on apuna myös visuaalisuus. Erityisesti siltojen tarkastuksissa kolmiulotteinen malli auttaa vaurion sijoittamisessa oikeaan kohtaan. Vaurioiden laajuuden määrittäminen on myös helpompaa ja samalla vaurioiden eteneminen ajan kuluessa on paremmin nähtävissä.

Liikennevirasto hyödyntää siltojen hallinnassa vuoden 2017 alussa käyttöön otettua Taitorakennerekisteriä. Siltojen ylläpidon tietotarpeita määriteltiin muun muassa asiantuntijahaastatteluiden avulla. Haastatteluiden perusteella Taitorakennerekisteri voisi sisältää vielä yksityiskohtaisempaa tietoa rakenteesta. Haastatteluiden perusteella kuvattiin siltojen hallinnan eri käyttötapaukset ja niiden avulla määriteltiin tarpeita Taitorakennerekisterille. Tietotarpeet vaihtelivat käyttäjän työtehtävien mukaan. Omistaja tarvitsee tarkinta tietoa siltakannastaan omaisuuden hallintaa varten. Tarkastajille, urakoitsijoille ja suunnittelijoille riittää kyseisessä työtehtävässä tarvittavat lähtötiedot. Tiedon luotettavuus, ajantasaisuus, oikeellisuus ja tiedon sujuva hyödyntäminen ovat tärkeimpiä ominaisuuksia Taitorakennerekisterin ylläpitomallissa. Erityisesti tietoa ei ole vielä saatavilla tarpeeksi helposti Taitorakennerekisteristä, vaan tietoa joudutaan etsimään esimerkiksi laskelmien ja piirustusten kautta. Haastatteluissa ilmeni myös yksittäisiä tietotarpeita rakenneosille.

Tarkkuustasojen kehittämisessä käytettiin apuna aikaisemmin määriteltyjä LoD – tasoja sekä Liikenneviraston suunnittelun ja toteutuksen tietosisältöjä. Taitorakennerekisterin tietotarpeiden sekä tietosisällön ja rakennekuvauksen pohjalta määriteltiin tarkkuustasot ylläpitomallille. Tarkkuustasoehdotukset ovat määritelty Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen sillan päärakenneosille: alusrakenteet, päällysrakenne, pintarakenne, varusteet ja laitteet sekä siltapaikka (ympäristö). Käytännössä ylläpitomalli tulee sisältämään eri tarkkuustason objekteja ja tietoja, mutta tarkkuustasoluokittelun selventämiseksi tarkkuustasoja on helpoin kuvata koko mallin tasolla. Tarkkuustasoehdotuksissa rakennekuvauksen kullekin päärakenneosalle on pyritty tekemään mahdollisimman yhteneväiset tarkkuustasoehdotukset. Sen lisäksi jokaisella rakenneosalla on eri ominaisuuksitietoja esimerkiksi geometriasta tai materiaalista. Näillä ominaisuuksitiedoilla on

myös omat tarkkuustasonsa. Tämän vuoksi tarkkuustasot on jaettu eri ominaisuustietojen kategorioihin.

Matalimmalla LoD0 –tarkkuustasolla on pää rakenneosien lisäksi ne tiedot, jotka ovat jo Taitorakennerekisterissä. Seuraavalla LoD1 –tasolla on Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen tiedot, joita päivitetään koko ajan. Rakennekuvauksen tietoja verrattiin myös yleispiirustuksesta saataviin tietoihin. Kahdella seuraavalla LoD2 – ja LoD3 – tarkkuustasolla on tarkennettu pää rakenneosan tietoa ja tarkimman tason ylläpitomalleja laaditaan uusille silloille. Tarkemmilla tasoilla tarvitaan muitakin lähteitä esimerkiksi mittapiirustuksia tai tietyn laitevalmistajan suunnitelmapiirustuksia lähtötiedoiksi. Tarkimmalla LoD4 –tasolla on esitetty rakentamisaikaisten toteumien tiedot. Rakenneosien ominaisuustiedot ovat luokiteltu tarkkuustasoissa eri kategorioihin, koska eri ominaisuuksilla on erilaisia tarkkuustasoja. Tässä työssä esitetyissä tarkkuustasojen ominaisuudet on luokiteltu geometria-, materiaali-, sijainti- ja rakenneosakohtaisiin ominaisuustietoihin. Päärakenneosista siltapaikan tiedot ovat hankalammin jaoteltavissa, koska siltapaikalla voi olla useita eri rakenteita tai järjestelmiä, joilla on eri tarkkuustasot. Siltapaikan tietojen tarkkuustasoehdotuksissa on käytetty pohjana Liikenneviraston Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto –ohjetta. Ylläpitomallin tapauksessa siltapaikan tietoja hankitaan olemassa olevasta rakenteesta, jolloin määrittelyt ovat erilaiset. Siltapaikan tietojen osalta tulee selvittää, mitä tietoja olemassa olevista kohteista on jo olemassa tai saatavilla eri tietokantojen avulla.

Kaikista silloista ei voida resurssien ja rahoituksen puitteissa laatia esimerkiksi LoD4 – tarkkuustason ylläpitomalleja. Siltojen ylläpidossa tarvittava tieto vaihtelee silloittain, sillä esimerkiksi suurilla silloilla ylläpito on haastavampaa. Siltoja kannattaa tämän vuoksi määritellä tarkemmin, mistä silloista laaditaan tarkka ylläpitomalli. Tässä työssä kehitettyjä tarkkuustasoehdotuksia voidaan käyttää siltojen priorisoinnin pohjana. Siltoja luokiteltiin muun muassa sillan tien hoitoluokan ja toiminnallisen luokituksen sekä siltapaikkaluokan ja sillan koon mukaan. Kaikista silloista vaaditaan vähintään Taitorakennerekisterin rakennekuvauksen mukainen tietotaso. Ylläpidon kannalta haastavampia siltoja ja erikoisempia rakenteita priorisoitiin tarkkuustasojen käytön kriteereissä tarkemmille tarkkuustasoille. Uusista silloista viedään tarkat tiedot Taitorakennerekisteriin. Uusien siltojen kohdalla tulee huomioda, että suunnittelun pohjalta tuotettu tieto ei pelkästään riitä, vaan tiedoissa tulee olla myös toteumatieto rakentamisvaiheesta, tieto siitä, että rakenne on toteutettu toleranssien sisällä tai suunnitelmista on poikettu. Liikennevirastossa päivitetään Inventointiohjetta, jonka perusteella määritetään, mitä tietoja Taitorakennerekisteriin tullaan päivittämään esimerkiksi yleistarkastusten yhteydessä.

Työn tulosten perusteella jatkotutkimuskohteeksi voidaan ehdottaa kehitettyjen tarkkuustasojen toimivuuden testausta käytännössä. Käytännöntulosten perusteella määrittämiä tulee tarkentaa. Tiedon tuottamisen ja ylläpitomallien laatimisen työ määrää ja kustannuksia tulee määrittää esimerkiksi pilotointien avulla, jotta pystytään määrittämään, millä tarkkuudella tietoja on tarpeen lisätä Taitorakennerekisteriin. Huomioitavaa on, että tarkkuustasoehdotukset eivät välttämättä ole tulevaisuudessa enää perusteltuja, koska tekniikka kehittyy koko ajan. Tulevaisuudessa tiedonhankinta voi olla kustannustehokkaampaa ja helpompaa. Ylläpitomallin päivitykseen liittyvät vaatimukset täytyy määritellä, jotta tieto on ajantasaista ja luotettavaa. Tiedostojen käytettävyyden ajan kuluessa on haaste, koska tietojen tulee olla käytettävissä vielä kymmenien vuosien jälkeen. Erilaisten rajapintojen muodostaminen ja toimivuus Taitorakennerekisterin kanssa tehostaa siltojen hallintaa. Tarkkuustasojen mittatoleranssit tulee myös määritellä tar-

kemmin. Esimerkiksi milloin geometrian esitys on tarpeeksi tarkka; millimetrin vai senttimetrin tarkkuudella ja miten materiaali vaikuttaa tarkkuustasoon.

## Lähdeluettelo

Alampalli, Sh.; Alampalli, Sa. & Ettouney, M. (2016) Big Data and High-Performance Analytics in Structural Health Monitoring for Bridge Management. Julkaisussa: Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical and Aerospace Systems, Vol. 980315-1. 7 s. DOI: 10.1117/12.221940.

Autodesk (2017) Revit. [Viitattu: 19.1.2017] Saatavissa: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>.

Ackamete, A.; Akinci, B. & Garret, J.H. (2010) Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. Julkaisussa: Tizani, W. (toim.) Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings of the International Conference, 30.6-2.7, Nottingham, Iso-Britannia: Nottingham University Press. 76 s. ISBN: 978-1-907284-60-1.

Azhar, S. (2011) Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Julkaisussa: Leadership and Management in Engineering, Vol 11(3). S. 241-252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

Becerik-Gerber, B.; Jazizadeh, F.; Li, N. & Calis, G. (2012) Application Areas and Data Requirement for BIM-enabled Facilities Management. Julkaisussa: Journal of Construction and Management, Vol. 138(3). S. 431-442. ISSN: 0733-9364 (sähköinen).

Bentley (2017) AECOsims Building Designer. [Viitattu: 19.1.2017] Saatavissa: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/building-design-software/aecosim-building-designer>.

Biljecki, F.; Storer, J.; Ledoux, H.; Zlatanova, S. & Cöltekin A. (2015) Applications of 3D City Models: State of the Art Review. Julkaisussa: ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 4. S. 2842-2889. DOI: 10.3390/ijgi4042842.

Biljecki, F.; Ledoux, H. & Stoter, J. (2016) An improved LOD specification for 3D buildings. Julkaisussa: Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 59. S. 25-37. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.

BIMForum (2016) Level of Development Specification 19.10.2016. Yhdysvallat. 202 s. [Viitattu: 23.1.2017] Saatavissa: <http://bimforum.org/LoD/>.

Boeters, R.; Otori, K.A.; Biljecki, F. & Zlatanova, S. (2015) Automatically enhancing CityGML LOD2 models with a corresponding indoor geometry. Julkaisussa: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 29(12) S. 2248-2268. DOI: 10.1080/13658816.2015.1072201.

Borrmann, A.; Lukas, K.; Zintel, M.; Schießl, P. & Kluth, M. (2012) BIM-based Life-Cycle Management for Reinforced Concrete Buildings. Julkaisussa: International Journal of 3-D Information Modeling. 24 s. DOI: 10.4018/ij3dim.2012010101.

Brodsky, G.; Muzykin, R.; Brodskaia E.S.; Ponomarev Yu. A.; Yenyutin Yu. A. & Vlasova M.S. (2006). Analysis of parameters of structure deterioration models within the Moscow Bridge Management System. Julkaisussa: Structure and Infrastructure Engineering, Vol 2(1). S. 13-21. ISSN: 1573-2479 (sähköinen).

Bryde, D.; Broquetas, M. & Volm, J.M. (2013) The project benefits of Building Information Modelling (BIM). Julkaisussa: International Journal of Project Management, Vol. 31. S. 971-980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.

buildingSMART Finland (2013) Inframodel –käyttöön otto-ohje versio 1.0. PRE Infra FINBIM Inframodel-ryhmä. 18 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: <http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel3-kayttoohje.pdf>.

buildingSMART Finland (2015a) Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 1. Tietomallipohjainen hanke. 17 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: [http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf).

buildingSMART Finland (2015b) Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 2. Yleiset mallinnusvaatimukset. 17 s. [Viitattu: 17.1.2017] Saatavissa: [http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA2\\_Yleiset\\_Vaatimukset\\_V\\_1\\_0.pdf](http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf).

buildingSMART Finland (2015c) Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 3. Lähtötiedot. 22 s. [Viitattu: 17.1.2017] Saatavissa: [http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA3\\_Lahtotiedot\\_V\\_1\\_0.pdf](http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf).

Chen, H.M.; Chang, K.C. & Lin, T.H. (2016) A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs. Julkaisussa: Automation in Construction, Vol. 71. S. 34-48. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.03.002.

CityGML (2017) KIT Brücke. [Viitattu: 29.3.2017] Saatavissa: [http://www.citygmlwiki.org/index.php?title=KIT\\_Br%C3%BCcke](http://www.citygmlwiki.org/index.php?title=KIT_Br%C3%BCcke).

Dai, K.; Smith, B.H.; Chen, S.E. & Sun, L. (2014) Comparative study of bridge management programs and practices in the USA and China. Julkaisussa: Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 10(5). S. 577-588. DOI: 10.1080/15732479.2012.757332.

Ding, L. & Xu, X. (2014) Application of Cloud Storage on BIM Life-cycle Management. Julkaisussa: International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 11(8). 10 s. DOI: 10.5772/58443.

Dongwei, Q. & Lanfang, G. (2010) Application of Virtual Reality Technology in Bridge Structure Safety Monitoring. Seminaarissa: International Conference on Computer and Information Application (ICCIA) 3.-5.12.2010. S. 465-467. DOI: 10.1109/ICCIA.2010.6141637.



ELY-keskus (2017) Erikoiskuljetukset. [Viitattu: 12.5.2017] Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/erikoiskuljetukset#.WRVk9WewdaR>.

Everett, T.D.; Weykamp, P.; Capers, H.A.; Cox, W.R.; Drda, T.S.; Hummel, L.; Jensen, P.; Juntunen D.A.; Kimball, T. & Washer, G.A (2008) Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe. 43 s. [Viitattu: 24.2.2017] Saatavissa: <https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl08016/pl08016.pdf>.

Fanning, B.; Clevenger, C.M.; Ozbek, M.E. & Mahmoud, H. (2014) Impacts and Benefits of Implementing Building Information Modeling on Bridge Infrastructure Projects. Colorado State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Fort Collins, Colorado. 28 s. [Viitattu: 27.2.2017] Saatavissa: <http://www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC14-272.pdf>.

Fanning, B.; Clevenger, C.M.; Ozbek, M.E. & Mahmoud, H. (2015) Implementing BIM on Infrastructure: Comparison of Two Bridge Construction Projects. Practice Periodical on Structural Design and Construction, Vol. 20(4). 8 s. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000239.

Gerrish, T.; Ruikar, K.; Cook, M.J.; Johnson, M.; Phillip, M. & Lowry, C. (2017) BIM application to building performance visualization and management: Challenges and potential. Julkaisussa: Energy and Building. 20 s. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.032.

Ghaffarianhoseini, Ali; Tookey, J.; Ghaffarianhoseini, Amirhosein; Naismith, N.; Azhar, S.; Efomova, O. & Raahemifar, K. (2016) Building Information Modelling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. Julkaisussa: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 8 s. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.083.

Hallberg, D. & Racutanu, G. (2007) Development of the Swedish bridge management system by introducing a LMS concept. Julkaisussa: Materials and Structures, Vol 40. S. 627-639. DOI 10.1617/s11527-006-9175-z.

Hearn, G.; Puckett, J.; Friedland, I.; Everett, T.; Kenneth, H.; Romack, G.; Christian, G.; Shepard, R.; Thompson, T. & Young, R. (2005) Bridge Preservation and Maintenance in Europe and South-Africa. 124 s. [Viitattu: 24.2.2017] Saatavissa: <https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl05002/pl05002.pdf>.

Helsingin kaupungin rakennusvirasto (2014) Suunnitteluohje, Taitorakenteiden tietomallinnusohje, 1.8.2014. Helsinki. 25 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: [http://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet\\_tietomallinnusohje.pdf](http://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/taitorakenteet_tietomallinnusohje.pdf).

Hämäläinen, J (2014) Ylläpitomallien ja tabletlaitteiden hyödyntäminen väylänpidon tehtävissä, pilotti, vaihe 1. Ylläpitomalliraportti. 18.9.2014. Destia Oy. Kuopio. 9 s.

InfraFINBIM (2014) Built Environment Process Re-Engineering PRE. Maintenance BIM. Tuloraportti 2011–2012. 57 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: [http://infraportaali.s3.amazonaws.com/Tie/Maintenance-BIM-2012/MAINTENANCE-BIM\\_2011-2012\\_tuloraportti\\_140422%20\\_viittaukset\\_150317.pdf](http://infraportaali.s3.amazonaws.com/Tie/Maintenance-BIM-2012/MAINTENANCE-BIM_2011-2012_tuloraportti_140422%20_viittaukset_150317.pdf).

Kang, T.W. 2017 Object composite query method using IFC and LandXML based on BIM linkage model. Julkaisussa: Automation in Construction. Vol. 76. S. 14-23. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.01.008.

Kassem, M.; Kelly, G.; Dawood, N.; Serginson, M. & Lockley, S. (2014) BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. Julkaisussa: Built Environment Project and Asset Management, Vol. 5(3). S. 261-277. DOI: 10.1108/BEPAM-02-2014-0011.

Kivits, A.R. & Furneaux C. (2013) BIM: Enabling Sustainability and Asset Management through Knowledge Management. Julkaisussa: The Scientific World Journal, Vol. 2013. 14 s. DOI: 10.1155/2013/983721.

Kjellman, J. (2015) Inframallien ja tabletlaitteiden hyödyntäminen väylänpidon tehtävissä, pilotti, 2. vaihe. Hankkeen loppuraportti. 24.8.2015. Ramboll Finland Oy. Oulu. 12 s.

Kjellman, J. (2016) Inframallien/Ylläpitomallien käyttö sillan erikoistarkastuksessa, Hämeensilta I (KeS-1490). Ylläpitomallitarkastuksen raportti 4.8.2016. Ramboll Finland Oy. Oulu. 5 s.

Kluth, M.; Borrmann, E.; Rank E.; Mayer T. & Schiessl, P. (2008) Development of a software-tool for the life-cycle management of bridges. 6 s. [Viitattu: 30.1.2017] Saatavissa: [http://www.cms.bgu.tum.de/publications/paper\\_Kluth\\_IALCCE08.pdf](http://www.cms.bgu.tum.de/publications/paper_Kluth_IALCCE08.pdf).

Kolbe, T.H; Nagel, C. & Stadler, A. (2009) CityGML – OGC Standard for Photogrammetry? Julkaisussa: Photogrammetric Week '09. Heidelberg, Saksa. S. 265-277. [Viitattu: 20.7.2017] Saatavissa: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/270Kolbe.pdf>.

Kuang, W.; Yu, X. & Zhang, L. (2016) Research of Nuclear Power Plant In-Service Maintenance Based on Virtual Reality. Julkaisussa: ASME Journal of Nuclear Engineering Radiation Science, Vol. 2(4). 6 s. DOI: 10.1115/1.4032598.

Latiffi, A.A.; Brahim, J.; Mohd, S. & Fathi, M.S. (2015) Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. Julkaisussa: Applied Mechanics and Materials, Vol. 773-774. S. 933-937. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.

Li, J.; Hou, L.; Wang, X.; Wang, J.; Guo, J.; Zhang, S. & Jiao, Y. (2014) A project-based Quantification of BIM benefits. Julkaisussa: International Journal of Advanced Robotic Systems. 13 s. DOI: 10.5772/58448.

Liikennevirasto (2011a) Siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittäminen (5D-silta2). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2011. Helsinki. 47 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2011-43\\_siltojen\\_rakentamisen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-43_siltojen_rakentamisen_web.pdf). ISSN: 1798-6664 (sähköinen).

Liikennevirasto (2011b) Taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2011. Helsinki. 229 s. [Viitattu:

19.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2011-28\\_taitorakenteiden\\_hallintajärjestelman\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-28_taitorakenteiden_hallintajärjestelman_web.pdf). ISSN: 1798-6664 (sähköinen).

Liikennevirasto (2012) Väyläverkoston yhtenäinen luokittelu kunnossapidon suunnittelua varten. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2012. Helsinki. 61 s. [Viitattu: 2.2.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-10\\_vaylaverkoston\\_yhtenainen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-10_vaylaverkoston_yhtenainen_web.pdf). ISSN: 1798-6664 (sähköinen).

Liikennevirasto (2013a) Sillantarkastuskäsikirja. Liikenneviraston ohjeita 26/2013. Helsinki. 94 s. [Viitattu: 2.2.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-26\\_sillantarkastuskasikirja\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-26_sillantarkastuskasikirja_web.pdf). ISSN: 1798-663X (painettu) ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2013b) Siltaapaikkojen luokitusohje. Liikenneviraston ohjeita 9/2013. Helsinki. 47 s. [Viitattu: 7.2.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-09\\_siltaapaikkojen\\_luokitusohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-09_siltaapaikkojen_luokitusohje_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2013c) Suurten erikoiskuljetusten tavoiteverkon (SEKV) uudistaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2013. Helsinki. 82 s. [Viitattu: 12.5.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2013-22\\_suurten\\_erikoiskuljetusten\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-22_suurten_erikoiskuljetusten_web.pdf).

Liikennevirasto (2013d) Taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. Helsinki. 125 s. [Viitattu: 24.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-17\\_taitorakenteiden\\_tarkastusohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf). ISSN: 1798-663X (painettu) ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2014a) Inframallien ja tabletlaitteiden hyödyntäminen väylänpidon tehtävissä, pilotti. Projektisuunnitelmavaihe 1. 13.5.2014. Lappeenranta. 3 s.

Liikennevirasto (2014b) Siltojen hoito. Liikenneviraston ohjeita 29/2014. Helsinki. 35 s. [Viitattu: 26.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-29\\_siltojen\\_hoito\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-29_siltojen_hoito_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2014c) Siltojen tietomalliohje. Liikenneviraston ohjeita 6/2014. Helsinki. 57 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-06\\_siltojen\\_tietomalliohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2014d) Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje. Liikenneviraston ohjeita 21/2014. Helsinki. 52 s. [Viitattu: 2.2.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-21\\_taitorakenteiden\\_suunnittelun\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-21_taitorakenteiden_suunnittelun_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2015a) 5D-silta3 & InfraBIM. Siltojen informaatio- ja automaatioprosessin sekä toimintaympäristön kehittäminen. Loppuraportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2015. Helsinki. 54 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2015-16\\_5d-silta3\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-16_5d-silta3_web.pdf). ISSN: 1798-6664 (sähköinen).

Liikennevirasto (2015b) Siltojen kantavuuslaskentaohje. Liikenneviraston ohjeita 36/2015. Helsinki. 62 s. [Viitattu: 18.5.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2015-36\\_siltojen\\_kantavuuslaskentaohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-36_siltojen_kantavuuslaskentaohje_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2015c) Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat. Taustaselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 26/2015. Helsinki. 90 s. [Viitattu: 9.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2015-26\\_taitorakenteiden\\_yllapidon\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-26_taitorakenteiden_yllapidon_web.pdf). ISSN: 1798-6664 (sähköinen).

Liikennevirasto (2015d) Ylläpitomallien laatiminen rautatiesiltojen erikoistarkastuksiin 2015-2016. Projektisuunnitelma. 13.5.2014. 2 s.

Liikennevirasto (2016a) Liikenneviraston sillat 1.1.2016. Liikenneviraston tilastoja 5/2016. Helsinki. 168 s. [Viitattu: 24.1.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2016-05\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2016-05_liikenneviraston_sillat_web.pdf). ISSN: 1798-8128 (sähköinen).

Liikennevirasto (2016b) Taitorakenteiden inventointi-ohje. Liikenneviraston ohjeita 1/2017. Luonnos 12.12.2016. Helsinki. 182 s. [Viitattu: 11.7.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2017-01\\_taitorakenteiden\\_inventointiohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2017-01_taitorakenteiden_inventointiohje_web.pdf). ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Liikennevirasto (2017a) Kuva-pankki.

Liikennevirasto (2017b) Liikenneverkko. [Viitattu: 22.6.2017] Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/liikenneverkko>.

Liikennevirasto (2017c) Liikenneväylien korjausvelkaohjelma 2016-2017. [Viitattu: 15.6.2017] Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/liikennejarjestelma/korjausvelkaohjelma#.WUIpG2dUWjA>.

Liikennevirasto (2017d) Siltojen tunnusluvut, Tarkastajien jatkokoulutus 2017. 8.3.2017.

Liikennevirasto (2017e) Taitorakennerekisteri, Esittely ja toiminnallisuus 10.5.2017.

Liikennevirasto (2017f) Taitorakennerekisteri. Liikenneviraston Extranet-palvelu. [Viitattu: 28.6.2017] Saatavissa: <https://extranet.liikennevirasto.fi/trex/>.

Liikennevirasto (2017g) Taitorakennerekisterin tietokuvaus – rakennekuvaus, Tarkastajien ja tiedon ylläpitäjien jatkokoulutus 8.3.2017.

Liikennevirasto (2017h) Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2017. 37 s. [Viitattu: 21.4.2017] Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2017-18\\_maastotiedot\\_mittausohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf). Helsinki. ISSN: 1798-6648 (sähköinen).

Lindkvist, C. (2014) Contextualizing learning approaches which shape BIM for maintenance. Julkaisussa: Built Environment Project and Asset Management, Vol. 5(3). S. 318-330. ISSN: 2044-124X (sähköinen).

Lipponen, P. (2015) Tietomallintamisen käyttö siltojen korjaussuunnittelussa. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Espoo. 101 s.

Liu, R. & Issa, R.A.I. (2015) Survey: Common Knowledge in BIM for Facility Maintenance. Julkaisussa: Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 30(3). 8 s. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000778.

Lukas, K. & Borrmann A. (2012) Integrated bridge management from 3D-model to network level. Julkaisussa: Biondini, F. & Frangopol D.M. (toim.) Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability, Proceedings of the Sixth International IABMS Conference, Lake Maggiore, Italia. 8.-12.7.2012: CRC Press. S. 3449-3455. [Viitattu: 28.2.2017] Saatavissa: [http://www.cms.bgu.tum.de/publications/2012\\_Lukas\\_IABMAS.pdf](http://www.cms.bgu.tum.de/publications/2012_Lukas_IABMAS.pdf). ISBN: 978-0-203-10338-8.

Löwner, M.O.; Benner, J.; Gröger, G. & Häfele K.H. (2013) New Concepts for Structuring 3D City Models – An Extended Level of Detail Concept for CityGML Buildings. Julkaisussa: Computational Science and Its Applications – ICCSA, 13<sup>th</sup> International Conference, Ho Chi Minh City, Vietnam, 6/2013, Proceedings, Part III. S. 466-480. DOI: 10.1007/978-3-642-39646-5.

Marzouk, M. & Hisham, M. (2011) Bridge Information Modeling in Sustainable Bridge Management. Julkaisussa: Chong. W. & Hermreck, C. (toim.) ICSDC 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry, Proceedings of the 2011 International Conference on Sustainable Design and Construction. Reston, Virginia, Yhdysvallat: ASCE. S. 457-466. ISBN 978-0-7844-1206-6.

Marzouk, M. & Hisham, M. (2014) Implementing Earned Value Management using Bridge Information Modeling. Julkaisussa: KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 18(5). S. 1302-1313. DOI: 10.1007/s12205-014-0455-9.

McGuire, B. (2014) Using building information modeling to track and asses the structural condition of bridges. Master Thesis. Colorado State University, Department of Civil and Environmental Engineering. Fort Collins, Colorado. 217 s. [Viitattu: 8.3.2017] Saatavissa: [https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/88574/McGuire\\_colostate\\_0053N\\_12758.pdf?sequence=1](https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/88574/McGuire_colostate_0053N_12758.pdf?sequence=1).

McGuire, B.; Atadero, R.; Clevenger, C. & Ozbek, M. (2016) Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation. Julkaisussa: Journal of Bridge Engineering, Vol. 21(4). American Society of Civil Engineers. 9 s. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000850.

Mäläskä, M. (2011) Elinkaarihankkeen ylläpitomalli. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 82 s. [Viitattu: 30.1.2017] Saatavissa:

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20746/malaska.pdf?sequence=3>.

Natspec (2013) BIM and LOD - Building Information Modelling and Level of Development. 19 s. [Viitattu: 10.3.2017] Saatavissa: [https://bim.natspec.org/images/NATSPEC\\_Documents/NATSPEC\\_BIM\\_LOD\\_Paper\\_131115.pdf](https://bim.natspec.org/images/NATSPEC_Documents/NATSPEC_BIM_LOD_Paper_131115.pdf).

NCHRP (2007) Report 590 Multi-objective Optimization for Bridge Management Systems. Washington D.C. 90 s.

NCHRP (2009) Synthesis 397 Bridge Management Systems for Transportation Agency Decision Making. A synthesis of Highway Practice. Washington D.C. 81 s.

Nical, A.K. & Wodynski, W.A. (2016) Enhancing Facility Management through BIM 6D. Seminaarissa: Creative Construction Conference 25.-28.6.2016, Vol. 164. S. 299-306. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.623.

Nykänen, S. (2014) Tietomallipohjainen sillan korjaussuunnittelu ja lähtötietojen koostaminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 103 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22810/Nykanen.pdf?sequence=3>.

Nykänen, S. & Uotila, J. (2016) Havaintoja ylläpitomallin käytöstä, Lappeenrannan ohitustien alikulkusilta 2, talli, Lappeenrannan ohitustien alikulkusilta 3, pääraide. 30.12.2016. A-Insinöörit Suunnittelu Oy. 9 s.

Open Geospatial Consortium Inc. (2006) Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language). 119 s. [Viitattu: 5.4.2017] Saatavissa: [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=16675](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=16675).

Orcesi, A.D. & Cremona, C.F. (2011) Optimization of Maintenance Strategies for the Management of the National Bridge Stock in France. Julkaisussa: Journal of Bridge Engineering, Vol. 16 (1). S. 44-52. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000125.

Pathak, N. (2008) Database Management System. Lucknow, Intia: Himalaya Publishing House. 318 s. ISBN: 978-81-84881-39-4 (painettu).

Penttilä, H.; Nissinen, S. & Niemioja, S. (2006) Tuotemallintaminen rakennushankkeessa, yleiset periaatteet. Helsinki. Rakennustieto Oy. 64 s. ISBN 951-682-796-9.

Qin, Y.P (2013) Application of Virtual Reality Technology in Construction Control and Management. Julkaisussa: Liu, B.L.; Yuan, M.; Chen, G. & Peng, J. (toim.) Applied Mechanics and Materials, Vol. 427-429. S. 2851-2854. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.427-429.2851.

Rajaraman, V. (2016) Big Data Analytics. Julkaisussa: Resonance, Vol. 21(8). S. 695-716. DOI: 10.1007/s12045-016-0376-7.

Rakennustieto (2005) Kansio vai internet? Huoltokirja – kiinteistönpidon tiedonhallinnan tärkeä työkalu. KH 90-40041. 4 s.

Rakennustieto (2012a) Infra 2011 toimenpidenimikkeistö. RT 10-11091, Infra 013-710090. 7 s.

Rakennustieto (2012b) Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus. RT 10-11066, LVI 03-10488. 12 s.

Rakennustieto (2012c) Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 12. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. RT 10-11077, LVI 03-10499. 11 s.

Safi, M.; Sundquist, H.; Karoumi, R. & Ractutanu, G. (2013) Development of the Swedish bridge management system by upgrading and expanding the use of LCC. Julkaisussa: Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 9(12). S. 1240-1250. DOI: 10.1080/15732479.2012.682588.

Shaffer, J.K.; Tanase, L.D; Witter, B.D & Gilmore, T.W. (2014) 3-D visualization for better bridge asset maintenance. Teoksessa: Chen, A.; Frangopol, D.M & Ruan, X. (toim.) Bridge Maintenance, Safety and Life Extension. Lontoo, Iso-Britannia: CRC Press Taylor & Francis Group. Seminaarissa: The Seventh International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2014) 7.-11.7.2014. Shanghai, Kiina. S. 153-157. ISBN 978-1-138-00103-9.

Shalabi, F. & Turkan, Y. (2016) IFC BIM-based Facility Management Approach to Optimize Data Collection for Corrective Maintenance. Julkaisussa: Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 31(1). 13 s. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000941.

Sito Oy (2017) Kuva-pankki.

Stratt, R.S. (2010) Bridge Management a System Approach for Decision Making. Julkaisussa: School of Doctoral Studies (European Union) Journal. 42 s. [Viitattu: 27.2.2017] Saatavissa: [http://www.iiuedu.eu/press/journals/sds/SDS\\_2010/DET\\_Article1.pdf](http://www.iiuedu.eu/press/journals/sds/SDS_2010/DET_Article1.pdf).

Suojanen, H (2014) Raippaluodon silta, ylläpitomalli. Raportti. 29.09.2014. Oulu. 4 s.

Tauscher, E.; Bargstädt, H.J. & Smarsly, K. (2016) Generic BIM queries based on the IFC object model using graph theory. Seminaarissa: The 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 6/2016. Osaka, Japani. [Viitattu: 27.2.2017] Saatavissa: <https://smarsly.files.wordpress.com/2016/02/smarsly2016b.pdf>.

Tekla (2017) Tekla Structures. [Viitattu: 17.1.2017] Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>.

Tiehallinto (2005a) Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Yleinen osa – SYL 1, Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki. 36 s. [Viitattu: 12.5.2017] Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/syl/syl1\\_2005v.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/syl/syl1_2005v.pdf) ISBN: 951-803-430-3 (sähköinen).

Tiehallinto (2005b) Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönottoaminen (Älykäs silta). Tiehallinnon selvityksiä 12/2005. Helsinki. 62 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200924-vsiltujen3dsuunn.pdf>. ISSN: 1457-9871 (painettu) ISSN: 1459-1553 (sähköinen).

Tiehallinto (2005c) Siltojen ylläpidon tuotevaatimukset. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki. 30 s. [Viitattu: 26.1.2017] Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/siltojen\\_yllapito\\_2005v.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/siltojen_yllapito_2005v.pdf). ISBN: 951-803-611-X (sähköinen).

Tiehallinto (2006) Sillan laaturaportti, Laatimisohe. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki. 43 s. [Viitattu: 20.6.2017] Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillan\\_laaturaportti\\_2006.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillan_laaturaportti_2006.pdf). ISBN: 951-803-656-X (sähköinen).

Tiehallinto (2007) Siltasuunnitelmien muuttaminen 3D-muotoon, konseptikuvaus. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 44/2007. Helsinki. 32 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000587-v-siltasuunnitelmien\\_muuttaminen\\_3d-muotoon.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000587-v-siltasuunnitelmien_muuttaminen_3d-muotoon.pdf). ISSN: 1459-1561 (sähköinen).

Tiehallinto (2008) Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-silta). Tiehallinnon selvityksiä 22/2008. Helsinki. 47 s. [Viitattu: 10.1.2017] Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/5d-silta\\_raportti\\_2008.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/5d-silta_raportti_2008.pdf). ISSN: 1459-1553 (sähköinen).

Trafi (2017) HCT-rekat. [Viitattu: 2.8.2017] Saatavissa: [https://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat\\_ja\\_hyvaksynnat/hct-rekat](https://www.trafi.fi/tieliikenne/luvat_ja_hyvaksynnat/hct-rekat).

Trimble (2017a) Trimble Connect. [Viitattu: 11.7.2017] Saatavissa: <http://connect.trimble.com/>.

Trimble (2017b) What is Tekla BIMsight? [Viitattu: 19.1.2017] Saatavissa: <http://www.teklabimsight.com/learn-more/what-is-tekla-bimsight>.

Vainio, S. (2013) Tietomallin käyttö vesirakenteiden kunnossapidossa. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Kotka. 45 s. [Viitattu: 12.1.2017] Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56814/Vainio\\_Simo.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56814/Vainio_Simo.pdf?sequence=1).

Volk, R; Stengel, J & Schultmann, F. (2014) Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. Julkaisussa: Automation in Construction, Vol. 38. 33 s. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

Yang, L. (2014) Some Research Results on Bridge Health Monitoring Maintenance and Safety IV, Special Topic Volume with Invited Peer Reviewed Papers Only. 121 s. ISBN: 978-3-038-35171-9 (painettu) ISBN: 978-3-038-26554-2 (sähköinen).

Ye, J.; Shulgin, B.V. & Vinesh, H.R. (2006) Virtual reality in construction industry: a requirement compatibility analysis approach. Julkaisussa: Woods, A.J.; Dogson, N.A.;



Merriitt, J.O.; Bolas, M.T. & McDowall, I.E. (toim.) Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII, Vol. 6055 S551-S551. 8 s. ISSN: 0277-786X.

Yoders, J. (2014) Level of Development: Will a new standard bring clarity to BIM model detail? Building, Design, Construction, Arlington Heights. 4 s. ISSN: 00073407.

### **Asiantuntijahaastattelut**

Alajoki, V. (2017) Projektinjohtaja, Katu- ja puisto-osasto, Helsingin kaupungin rakennusvirasto. Elimäenkatu 5, 00510 Helsinki. Haastattelu 19.4.2017.

Beversdorf, M. (2017) Tuotepäällikkö, SVS Innovations. PL 20, 33101 Tampere. Haastattelu 7.4.2017.

Hämäläinen, J. (2017) Suunnittelija, asiantuntijapalvelut, siltasuunnittelu, Destia Oy. Microkatu 1, PL1188, 70211 Kuopio. Haastattelu 22.3.2017.

Kjellman, J. (2017) Ryhmäpäällikkö, siltasuunnittelu, Ramboll Finland Oy. Kiviharjunlenkki 1 A, 90220 Espoo. Haastattelu 31.3.2017.

Lehtinen, S. (2017) Datacubist Oy. Finlaysoninkuja 9, 33210 Tampere. Haastattelu 24.3.2017.

Litmanen, J. (2017) Projektipäällikkö, teknologiapäällikkö, sillat, BIM, Sweco Finland Oy. Microkatu 1, 70210 Kuopio. Haastattelu 12.4.2017.

Meriläinen, J. (2017) Silta-asiantuntija, Liikennevirasto. Ratamiehenkatu 23, 53100 Lappeenranta. Haastattelu 31.3.2017.

Myllymäki, H. & Äijälä, M. (2017) Silta-asiantuntija, Ratamiehenkatu 23, 53100 Lappeenranta & Yliopistonkatu 38, 33100 Tampere. Haastattelu 3.4.2017.

Niemi, H. & Turunen, T. (2017) Siltojen korjaukset, rakennuttaminen, asiantuntijapalvelut, Siltainsinöörit TH Oy. Keskuskatu 12 B 13, 04600 Mäntsälä. Haastattelu 12.4.2017.

Nykänen, S. (2017) Suunnittelija, A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo. Haastattelu 24.3.2017.

Piispanen, M. (2017) Silta-asiantuntija, Liikennevirasto. Ratamiehenkatu 23, 53100 Lappeenranta. Haastattelu 29.3.2017.

Rauhanen, M. (2017) Toimitusjohtaja, siltojen tarkastus ja korjaussuunnittelu sekä liikenteenohjaus- ja porauspalvelut, SiltaExpert Oy. Pajakatu 8 E, 20320 Turku. Haastattelu 31.3.2017.

Raunio, H. (2017) Siltojen kantavuusasiantuntija, Liikennevirasto. Yliopistonkatu 38, 33100 Tampere. Sähköpostihaastattelu 17.5.2017.

Repo, T. (2017) Projektipäällikkö, ELY-keskus. Opastinsilta 12 B, PL 36, 00521 Helsinki. Haastattelu 4.4.2017.

Rytkönen, A. (2017) Kehittämispäällikkö, Liikennevirasto. Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki. Haastattelu 24.4.2017.

Ryynänen, S. & Saastamoinen, T. (2017) Silta-insinööri & Kunnossapidon suunnittelija, ELY-keskus. Kallanranta 11, PL 2000, 70100 Kuopio. Haastattelu 6.4.2017.

Silvander, J. (2017) Työpäällikkö, Destia Oy. Turuntie 207, 02740 Espoo. Haastattelu 9.5.2017.

Torkkeli, M. (2017) Yksikön päällikkö, Liikennevirasto. Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki. Haastattelu 4.4.2017.

## **Liiteluettelo**

Liite 1. Sillan suunnittelun lähtötiedot. 5 sivua.

Liite 2. Siltojen jaottelun kriteereitä. 2 sivua.

Liite 3. Siltojen jaottelun ehdotukset. 2 sivua.

## Liite 1. Sillan suunnittelun lähtötiedot

Sillan suunnitelman yleistietojen sisältö (Liikennevirasto 2014d, s. 22.)

Yleistiedot	
Perustiedot	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä sekä muunnosparametrit tai vastinpisteet</li><li>• Lähtötietoselostus</li><li>• Sillan sijaintitieto</li><li>• Siltaympäristön inventointi</li><li>• Tieto YVS/ YVAsta (muu aineisto viitetiedoissa)</li><li>• Tieto vesiluvasta (muu aineisto viitetiedoissa)</li></ul>
Suunnitteluperusteet	<ul style="list-style-type: none"><li>• Siltapaikkaluokka</li><li>• Tien talvihoitoluokka, väylän talvihoito-/ kunnossapitotieto</li><li>• NCCI sovellusohjeita tarkentavat määritykset, hanketohtaiset valinnat/ muutokset</li></ul>

**Suunnitelmätietojen tekniikkalajikohtaisten tietojen sisältö (Liikennevirasto 2014d, s. 23.)**

Tekniikkalajikohtaiset tiedot	Asia
Maastomalli Maaperämalli	<ul style="list-style-type: none"> <li>Päivitettyinä suunnitteluvaiheessa tehtyjen mittausten ja tutkimusten perusteella</li> </ul>
Maa-, pohja- ja kalliorakenteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tukikohtaiset perustamistavat – ja tasot</li> <li>Kantavuus</li> <li>Paalujen tavoitetaso</li> <li>Perustusrakenteet</li> <li>Pohjarakenteet</li> <li>Kallion tiivistys- ja lujitusrakenteet</li> <li>Tulopenkereiden perustaminen</li> </ul>
Väylä/väylien tiedot	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geometrialinjat</li> <li>Poikkileikkaustiedot</li> <li>Väylien kaideleveys</li> <li>Liikennetekniset mitat</li> <li>Aukkovaatimukset</li> <li>Työnaikaiset aukkovaatimukset</li> <li>Väylän rakenteen ylä- ja alapintamalli</li> <li>Vesiväylän tai vesistön alustava mitoitus</li> <li>Vaatimukset eläinalikuluille (vapaa-aukko, kulkutasanteet jne.)</li> </ul>
Vesien hallinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Siltapaikan kuivatusrakenteet</li> </ul>
Järjestelmät	<ul style="list-style-type: none"> <li>Johdot ja laitteet</li> <li>Valaistus <ul style="list-style-type: none"> <li>kaapelisuoja-putkitarpeet (myös ulkopuoliset operaattorit)</li> <li>kaapelikaivojen sijainti, materiaali ja koko</li> <li>valaisinvarausten sijoittelu ja niiden koko</li> </ul> </li> <li>Telematiikka ja liikennevalot <ul style="list-style-type: none"> <li>siltaan tulevat turvalaite-, sähköistys-, valaisin-, portaali-, kamera- yms. laitteiden sijoitus ja kiinnikkeet</li> </ul> </li> <li>Kiinteä liikenteenohjaus</li> </ul>
Rakenteet, ulkonäkö ja ympäristö	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sillat ja taitorakenteet <ul style="list-style-type: none"> <li>muotoilu</li> <li>pinnoitus</li> <li>luiskaverhoilu</li> </ul> </li> <li>Muut liittyvät rakenteet <ul style="list-style-type: none"> <li>Perustus- ja tukirakenteet</li> <li>Ympäristörakenteet</li> <li>Rakennelmat ja kalusteet</li> <li>Maanalaisten tilojen rakenteet</li> <li>Muut rakenteet</li> </ul> </li> </ul>

## Sillan suunnittelun lähtötiedot (Liikennevirasto 2014d, s. 25-26.)

Alakansio	Sisältö
A Maastomalli (suunnittelun aikana tehtyjen lisämittausten perusteella päivitetty tieto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleispiirteinen maastomalli (ns. likimalli)</li> <li>• (Tarkka) maastomalli <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maanpintamalli</li> <li>○ Maastokartoitus: maanpäälliset tai maanalaiset rakenteet, kuviorajat</li> </ul> </li> <li>• Pintavesitiedot ja/tai -malli</li> <li>• Vedenpintatiedot (NW, MW, HW) (ja virtaustiedot)</li> <li>• Jäätiedot</li> <li>• Vesistön pohjan muoto, vedenpinnan alapuoliset rakenteet</li> </ul>
B Maaperämalli (suunnittelun aikana tehtyjen lisätutkimusten perusteella päivitetty tieto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohjatutkimukset</li> <li>• Kallionpinta (ja kallion ominaisuudet)</li> <li>• Maakerrosten rajapintojen pintamallit</li> <li>• Maalajit ja ominaisuudet</li> <li>• Pohjavesitiedot</li> </ul>
C Rakenteet ja järjestelmät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maa-, pohja- ja kalliorakenteet <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Päälysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset</li> <li>○ Reunatuot, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset</li> <li>○ Kasvillisuusrakenteet</li> <li>○ Ratojen päälysrakenteet</li> <li>○ Pilaantuneet maat ja rakenteet</li> <li>○ Perustusrakenteet</li> <li>○ Pohjarakenteet</li> <li>○ Kallion tiivistys- ja lujitusrakenteet</li> <li>○ Kalliotilat ja -tunnelit</li> </ul> </li> <li>• Järjestelmät <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vesihuollon järjestelmät</li> <li>○ Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät</li> <li>○ Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät</li> <li>○ Lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmät</li> </ul> </li> <li>• Rakennustekniset rakennusosat <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sillat ja muut taitorakenteet, joihin kohdistuu toimenpiteitä (suunnittelun aikana tarpeen mukaan tehtyjen tutkimusten perusteella päivitetty tieto) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ perustiedot</li> <li>▪ yleispiirustus/malli</li> <li>▪ rakennemitat</li> <li>▪ tehdyt tarkastukset/ vauriot (yleistarkastus tai vastaava katselmus)</li> <li>▪ erikoistarkastus</li> </ul> </li> <li>○ Sillat</li> <li>○ Laiturit</li> <li>○ Perustus- ja tukirakenteet</li> <li>○ Ympäristörakenteet</li> <li>○ Rakennelmat ja kalusteet</li> <li>○ Vesiliikenteen rakenteet ja padot</li> <li>○ Maanalaisten tilojen betonirakenteet</li> <li>○ Muut rakennusosat</li> </ul> </li> </ul>

D Kartta ja paikkatieto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maakuntakaava <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Peruskartat</li> <li>○ Pohjakartat</li> <li>○ Ortokuvat</li> </ul> </li> <li>• Kaava-aineistot <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kaavoituskatsaukset</li> <li>○ Maakuntakaava</li> <li>○ Osayleiskaava, yleiskaava</li> <li>○ Asemakaava</li> </ul> </li> <li>• Liikenne <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Liikennemäärät ja ennusteet</li> <li>○ Vesiliikenneväylät ja lauttayhteydet</li> <li>○ Vene- ja melontareitit</li> <li>○ Uittosäntö</li> <li>○ Erikoiskuljetukset</li> <li>○ Liikenneturvallisuus</li> </ul> </li> <li>• Ympäristö <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kulttuuriperintökohteet</li> <li>○ Luonto</li> <li>○ Pinta- ja pohjavesi</li> <li>○ Pilaantuneet maat</li> <li>○ Massatalous</li> <li>○ Melu</li> <li>○ Kompensaatiot</li> </ul> </li> <li>• Kiinteistötiedot ja maanomistus <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kiinteistörajat</li> <li>○ Maanomistustiedot</li> <li>○ Rekisterit</li> <li>○ Paikkatietoaineistot</li> </ul> </li> <li>• Toteuttamiseen liittyvät alueiden käyttöoikeudet <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tie-, katu- ja rata-alueen rajat</li> <li>○ Läjitysalueet</li> <li>○ Väliaikaiset käyttöoikeudet</li> <li>○ Laskuoja-alueet</li> <li>○ Suoja-alueet ja -vyöhykkeet</li> </ul> </li> </ul>
E Viiteaineisto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suunnitelmat ja selvitykset <ul style="list-style-type: none"> <li>○ esim. YVA- selvitykset, liittyvien hankkeiden suunnitelmat</li> </ul> </li> <li>• Lausunnot ja päätökset <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vesilain mukaiset päätökset</li> <li>○ Liikenneviraston väylänpito- toimialan lausunto</li> </ul> </li> <li>• Suunnitteluperusteet ja -ohjeet</li> <li>• Maastokäynnit</li> </ul>

**Lähtötiedot suunniteltaessa toimenpiteitä olemassa oleviin siltoihin (Liikennevirasto 2014d, s. 46.)**

Toimenpide	Tarvittava tietosisältö	Tietolähde	Tiedon esitystapa
Sillan leventäminen omille perustuksille, uudisosa	Lähtötiedot uudiskohdetta vastaa- vasti		
Sillan leventäminen, toimenpiteet vanhalle rakenteelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- päällysteen tasaus (korko ja kallistukset) (*)</li> <li>- pintarakenteen/ radan päällysrakenteen rakennekerrokset ja niiden paksuudet (*)</li> <li>- rakenteen mitat ja muoto</li> <li>- levennettävän reunan raudoitus</li> <li>- rakenteen kunto</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Sillan vahventaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- päällysteen tasaus ja pintarakenteet sekä radan päällysrakenne (*)</li> <li>- ks. yo. kohta</li> <li>- koko siltarakenteen sijainti ja mitat</li> <li>- sillan suunnitelmapiirustukset</li> <li>- päällysrakenteen kunto</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Pintarakenteiden uusiminen tai Radan päällysrakenteen uusiminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- päällysteen tasaus ja pintarakenteet sekä radan päällysrakenne (*)</li> <li>- ks. yo. kohta</li> <li>- kansilaatan yläpinnan kunto</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Reunapalkin uusiminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reunapalkin sijainti sekä mitat</li> <li>- reunapalkin raudoitus</li> <li>- reunapalkin kunto</li> <li>- sillan päiden maastokartoitus</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Päällysrakenteen korjaaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koko siltarakenteen sijainti ja mitat</li> <li>- raudoitus ja mitatut betonipeitteet</li> <li>- päällysrakenteen kunto</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Alusrakenteiden korjaaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- koko siltarakenteen sijainti ja mitat</li> <li>- alusrakenteen raudoitus ja mitatut betonipeitteet</li> <li>- alusrakenteen kunto</li> </ul>	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti
Toimenpiteet varusteille ja laitteille	- ko. rakenteiden sijainti ja ominaisuudet	Mittaus, erikoistarkastus, piirustukset	dwg ifc teksti



## Liite 2. Siltojen jaottelun kriteereitä

### Siltojen jaottelun kriteereitä

SILLAT 1.1.2016	Määrä
Omistaja Liikennevirasto	
Tiesillat	15140
Ratasillat	2417
Siltapaikkaluokitus	
Vaatimaton	13990
Merkittävä	3399
Vaativa	649
Erittäin vaativa	136
Toiminnallinen luokitus	
Yhdystiet	4585
Seututiet	2171
Kantatiet	895
Valtatiet	3052
Muu tie	1214
Hoitoluokka	
KVL < 350	4316
KVL 350...1500	3022
KVL 1500...3000	1535
KVL 3000...6000	1778
1-ajorataiset supertiet KVL 6000...12000	3374
2-ajorataiset supertiet KVL > 12000	1115
Koko	
<=5	3804
>5 ja <=10	3502
>10 ja <=20	5279
>20 ja <=40	3679
>40 ja <=60	1638
>60 ja <=100	1266
>100	658
Valmistumisvuosi	
<1940	725
>=1940 ja <1980	6639
>=1980 ja <2000	5217
>=2000	2633
Muita kriteereitä	
Sillan tyyppi, suuret sillat	
Ohjelmoinnissa olevat sillat, jotka korjataan	
Erikoistarkastettavat	
Erikoiset rakenteet	

Käyttötarkoitus Tie	Määrä
Alikulkukäytävä	2203
Pehmeikkösilta	1
Raittisilta	300
Ramppisilta	87
Risteyssilta	1789
Vesistösilta	6805
Ylikulkukäytävä	152
Ylikulkusilta	535
Ylikäytäväsilta	13
Muu maasilta	27
Ei tiedossa	5
Putkisillat	3223
Päarakennusmateriaali Tie	
Teräsbetoni	8864
Jännitetty betoni	1337
Teräs	892
Puu	628
Kivi	184
Käyttötarkoitus Rata	
Alikulkusilta	962
Alikäytävä	324
Pehmeikkösilta	4
Ratasilta	1014
Rautatieristeyssilta	19
Ei tiedossa	9
Putkisillat	85
Päarakennusmateriaali Rata	
Teräsbetoni	1572
Teräspalkkibetoni	85
Jännitetty betoni	286
Teräs	295
Kivi	78
Rautatiesillat, sähköistys	
Sähköistetty	1598
Ei sähköistetty	421
Ei tiedossa	313
Rautatie, kunnossapitotaso	
--> Rataosuudet	
Museosillat	
Tiesillat	33
Ratasillat	11

Liite 3. Siltojen jaottelun ehdotukset

YHTEISET

Rakenneluokka

Joukossa > Silta

Poistettu käytöstä

ei >

YHTEISET

Ormistaja

Joukossa > Liikennevirasto

YHTEISET

Väylänpito

Joukossa > Tieverkko

ja

TIETIEDOT

Hoitoluokka

Joukossa > 2-ajorataiset supertiet KVL > 12000

YHTEISET

Ympäristöluokka

Joukossa > Erittäin vaativa

tai

SILLAN TIEDOT

Kokonaispituus (m)

> > 100

TIETIEDOT

Toiminnallinen luokka

Joukossa > Valtatie

LoD3 –tason siltojen jaottelun kriteerit Taitorakennerekisterissä.

YHTEISET

Rakenneluokka

joukossa >

X Silta

Poistettu käytöstä

ei >

YHTEISET

Omistaja

joukossa >

X Liikennelaitos

YHTEISET

Väylänpito

joukossa >

X Tieverkko

ja

TIEDOT

Hotelliluokka

joukossa >

X 1-ajorataiset supertiet KVL 6000... 12000

X KVL 3000... 5000

YHTEISET

Ympäristöluokka

joukossa >

X Vaatila

SILUAN TIEDOT

Kokonaispituus (m)

<= >

100

TIEDOT

Toiminnallinen luokka

joukossa >

X Valtatie

TIEDOT

Toiminnallinen luokka

joukossa >

X Kantatie

LoD2 –tason siltojen jaottelun kriteerit Taitorakennerekisterissä.